بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني باستخدام تقنية الإنشطار النووي وكواشف الأثر البلاستيكية

إعداد

يامن علي صالح العبويني

إشراف

الدكتور محمود خالد كلاب

27 رجب 1430 هـ

20/7/2009 م

دراسة تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني باستخدام تقنية الإنشطار النووي وكواشف الأثر البلاستيكية

إعداد

يامن علي صالح العبويني

بكالوريوس فيزياء، جامعة اليرموك، 2004 م

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في العلوم من قسم الفيزياء، جامعة اليرموك، اربد، الأردن.

وافق عليها

الدكتور محمود خالد كلاب.............................رئيسا و مشرفا

أستاذ مشارك في الفيزياء، قسم الفيزياء، جامعة اليرموك

الدكتور عدنان محمد إسماعيل..............................عضوا

أستاذ مشارك في الفيزياء، قسم الفيزياء، جامعة اليرموك

الأستاذ الدكتور بركات عطوان البطاينة.............. عضوا

أستاذ في الفيزياء، قسم الفيزياء، جامعة اليرموك

الأستاذ الدكتور محمد يوسف عطا الله.............. عضوا

أستاذ في جيولوجيا، قسم علوم الأرض و البيئة، جامعة اليرموك

27 رجب 1430 هـ

تاريخ تقديم الأطروحة 2009/7/20 م

إهـداء

إلى أمي الغالية و أبي الغالي

إلى إخواني و أخواتي

إلى كل طالب علم و معرفة

أُهدي خلاصة جهدي راجياً من الله القبول

والتوفيق

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر و تقدير

احمد الله العلي القدير الذي يسر أمري ووفقني و أنعم علي بإنجاز و إتمام هذا البحث.
وأتقدم بجزيل الشكر و العرفان من أستاذي الدكتور محمود خالد كلاب على تعاونه و إرشاداته التي أفادتني كثيراً.
كما أتقدم بالشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة على ملاحظاتهم و إرشاداتهم لإتمام عملي، وأخص أيضا بالشكر الدكتور خالد أبو مراد- المشرف الرئيسي سابقا- على تعاونه و إرشاداته التي أفادتني كثيراً. وأتقدم بالشكر والعرفان لمركز الأبحاث في شركة الفوسفات الأردنية على توفير عينات الدراسة من الفوسفات من مواقع مناجم الفوسفات المختلفة، وأشكر هيئة الطاقة النووية الأردنية على رأسهم الدكتور خالد طوقان و الدكتور نضال الزعبي على إبداء المساعدة في بحثي.
كما أتقدم بخالص الشكر للأستاذ عبد الله عبيدات نائب مفوض هيئة تنظيم النشاط الإشعاعي على مساعدته وتعاونه في بحثي.
وفائق الشكر لأهلي الذين وفروا لي البيئة المناسبة لإتمام دراستي و تذليلهم الصعاب التي واجهتني وتشجيعهم المتواصل لي.
كما أتقدم بخالص الشكر للأستاذ محمد العمري على مساعداته لي في تحليل الكواشف و إرشاداته المتواصلة لي.

الباحث

يامن علي صالح العبويني

المحتوى

الموضوع	الصفحة

قائمة الجداول

الجدول الصفحة

قائمة الأشكال

الشكل	الصفحة

الملخص

صالح العبويني، يامن علي. دراسة تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني باستخدام تقنية الإنشطار النووي وكواشف الأثر البلاستيكية.رسالة ماجستير، جامعة اليرموك، 2009.
(المشرف: د. محمود كلاب)

لقد تم دراسة عينات فوسفاتية أردنية من مناجم الحسا والأبيض و الشيدية من آبار و أعماق مختلفة و إضافة إلى ذلك عينة فسفوجبسيم لمعرفة محتواها من اليورانيوم 235 و اليورانيوم 238 باستخدام كاشف الأثر النووي CR-39 و تقنية الإنشطار النووي، بتشعيع العينات بواسطة مصدر نيوترونات Am-Be يعطي فيض $5x10^4$ $n/s.cm^2$ لفترة 20 يوم، كما وتم تحضير عينات مماثلة للعينات التي شععت وتركت خارج مصدر النيوترونات لفترة 10 أيام.

وبعد مضي الفترة لكل منهما أزيلت الكواشف وتظهيرها كيميائياً (Etching) بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بمولريتي 6.25 M، عند درجة حرارة $70\ ^oC$ ولمدة ثماني ساعات. بعد ذلك تم استخدام مجهر ضوئي مركب و على تكبير مناسب لعد مسارات شظايا الإنقسام على سطح الكاشف CR-39 و أجريت الحسابات اللازمة.

تبين من خلال الدراسة أن معدل تركيز اليورانيوم في منجم الحسا هو (88.25 ppm) حيث وجد أعلى تركيز في الطبقة المحتوية على الفوسفات الناعم (Soft Phosphate). في حين كان متوسط تركيز اليورانيوم في منجم الأبيض (71.46 ppm) وقد وجد أعلى تركيز له في طبقة الفوسفات الناعم ممزوجة مع الحور (marl).أما في منجم الشيدية فقد كان تركيز اليورانيوم (48.23 ppm) و أعلى تركيز قد وجد في طبقة الفوسفات الناعم.

كما تبين من النتائج أن تركيز اليورانيوم يزداد من الشيدية فالأبيض فالحسا. و أن تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني يعتبر متوسط مقارنةً بغيره من دول العالم ويتراوح بين (93.60-47.53 ppm) إذا ما قورن بتركيزه في تنزانيا (376.82 ppm) والسودان (210.94 ppm) إلا أن أقله في روسيا حيث بلغ (11.36 ppm).

كما وجد من خلال الدراسة مدى نجاعة هذه الطريقة على الرغم من طول فترة التشعيع نسبياً، والذي يعود للضعف النسبي لفيض مصدر النيوترونات.

كلمات مفتاحية: الفوسفات الأردني، الإنشطار النووي، كواشف CR-39، يورانيوم 235

المقدمة Introduction

يستخدم الفوسفات في العديد من الصناعات أهمها تحضير عنصر الفسفور وإنتاج حمض الفسفوريك، المستعمل في الصناعات التعدينية، والصناعات الحربية و الغذائية و الخزف و النسيج. ويذهب معظم الفوسفات المستخرج إلى الأسمدة لرفع إنتاجية المحاصيل الزراعية، كما يستعمل في ميدان الطب. وفي كثير من رواسب الفوسفات توجد كميات من العناصر النادرة، ومنها على سبيل المثال عنصر اليورانيوم الذي يمكن استخراجه للاستفادة منه في توليد الطاقة النووية و استغلالها للأغراض السلمية من توليد طاقة كهربائية و تحلية مياه. (فاضل، 2006).

يترسب الفوسفات عادة في مواقع جغرافية محددة (40^{o} شمال و جنوب خط الاستواء) في مناخ دافئ على الشواطئ الضحلة للقارات. وتترسب معظم رواسب الفوسفات الحديثة في العالم نتيجة عمليات صعود تيارات المياه البحرية العميقة الباردة و الغنية بالمواد الفوسفاتية إلى أعلى نحو المناطق الشاطئية من البحر نتيجة عمل حزام الرياح البحرية التجارية (عابد، 2000).

وتحدث عملية رفع المياه (Upwelling Currents) عادة على الشواطئ الدافئة. و يترسب الفوسفات عندما تزيد درجة حرارة المياه الفوسفاتية المرفوعة و يقل الضغط لفقدان ثاني أكسيد الكربون و تزداد القلوية (Abed & Mansour, 1982).

لقد لوحظت العلاقة الوطيدة بين اليورانيوم و الفوسفات منذ مطلع القرن العشرين. حيث يزيد محتوى هذا العنصر في الترسبات الفوسفاتية عن غيرها عشرات المرات، وكذلك عن محتواه في القشرة الأرضية (شركة مناجم الفوسفات الأردنية، 2006).

ويتراوح محتوى اليورانيوم في الفوسفات الرسوبي بين حوالي (10 – 20 ppm) ويكون في الفوسفات الناري عادة أقل من الحد الأدنى المذكور أعلاه. و يصل محتواه في حالات نادرة من أنواع الفوسفات الرسوبي إلى (1500 ppm)، بحيث يعد خاما لليورانيوم لا للفوسفات. إن محتوى اليورانيوم في الفوسفات الأردني يختلف باختلاف المنجم و نوعية الطبقة الحاملة للفوسفات و يتراوح من (32–70ppm) و هذا المحتوى ضمن المستوى الطبيعي عالميا (شركة مناجم الفوسفات الأردنية، 2006).

إن سبب ارتباط اليورانيوم في الفوسفات لازال غير واضح تماما حتى الآن. و لعل أحد أهم الأسباب هو إمكانية أحلال اليورانيوم رباعي التكافؤ (نصف قطره الأيوني 0.97Å) محل الكالسيوم ثنائي التكافؤ (نصف قطره الأيوني 0.99 Å) بسهولة في بلورة معدن الأباتيت المكون الأساسي للفوسفات الرسوبي و ذلك نظرا للتقارب الكبير نسبيا في أنصاف أقطارهما الأيونية (شركة مناجم الفوسفات الأردنية، 2006).

و في واقع الحال، أن ما يزيد عن 60% من اليورانيوم الموجود في الفوسفات الأردني مرتبط فعلا ببلورة الأباتيت (Fixed Uranium)، في حين أن الجزء المتبقي يتواجد على شكل أكاسيد اليورانيوم و غالبا ما تكون في وضع أمدصاص (Adsorption) على سطح حبيبات بعض الشوائب المصاحبة للفوسفات و يدعى اليورانيوم المنقول (Mobile Uranium) وخلال عمليات الحت يتحول الأكسيد إلى مركبات كاتيون اليورانيل (UO_2^{+2}) الذائبة ثم ينتشر بشكل مركب كربونات اليورانيل (شركة مناجم الفوسفات الأردنية، 2006).

و يعتبر الأردن سادس أكبر دولة منتجة للفوسفات في العالم بعد كل من الولايات المتحدة الأمريكية و الصين و المغرب و روسيا و تونس وكذلك ثان أكبر مصدر للفوسفات بعد المغرب (فاضل، 2006).

و نظرا للنقص الحاد في مصادر الطاقة غير المتجددة (الأحفورية) و قلة مصادر مياه الشرب في الأردن وفي كثير من دول العالم، تتجه الجهود إلى استغلال الطاقة النووية في الأغراض السلمية من توليد للطاقة وتحلية للمياه و للمشاريع البحثية. ويلعب اليورانيوم دوراً أساسياً في تصنيع الوقود النووي. لذلك جاءت هذه الدراسة لمعرفة نسب اليورانيوم في الفوسفات الأردني و لتدعم نتائج الدراسات السابقة التي أجريت لدراسة محتوى الفوسفات بعدة طرق مثل: تقنية أشعة جاما(Al-Ahmad, 2003) ، تقنية أشعة ألفا (Saad et al., 2003) ، تقنية تألق الأشعة السينية (غرايبة، 1998) و باستخدام كواشف الأثر النووي (خليل، 2006).

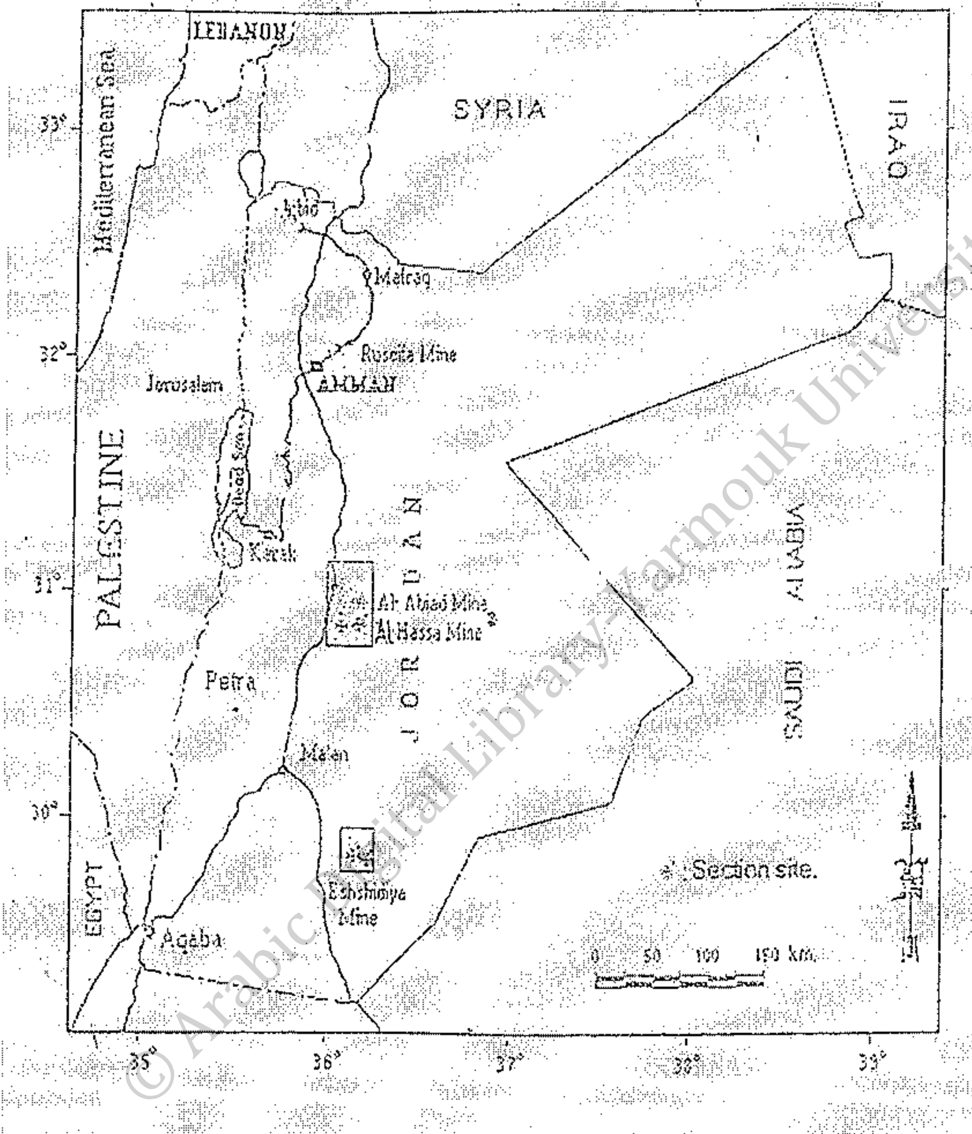
ولقد استخدم في هذه الدراسة تقنية الانشطار لأنوية اليورانيوم بواسطة النيوترونات الحرارية وكواشف الأثر النووي البلاستيكية التي لها استعمالات وتطبيقات مختلفة من تأريخ المصنوعات اليدوية القديمة و العينات الجيولوجية المجهولة وذلك بحساب كثافة الحفر الناتجة من الانشطارات التلقائية U^{235} بانشطارات مستحثة لنفس المعدن بحيث تقارن لتخمين عمر ذلك المعدن. تم استخدام هذه التقنية في بداية الأمر لقياس كفاءة تسجيل ارتداد البروتونات عن سطح كاشف بلاستيكي وذلك بتعريض نيوترونات على مادة غنية بالهيدروجين باتصال مباشر بالكاشف. ثم يتم حساب الحفر الناتجة على سطح الكاشف من ارتداد البروتونات المستحثة

(Moharam et al., 2002).و بدلا عن ذلك، فقد تم استخدام –في هذه الدراسة – عينات تحتوي على مواد انشطارية مثل اليورانيوم في الفوسفات وذلك بوضعها باتصال مباشر مع الكواشف البلاستيكية التي لها حساسية عالية للشظايا الناتجة من انشطار أنوية اليورانيوم حيث تترك مسارات على هذه الكواشف لا ترى بالمجهر الضوئي إلا بعد تظهيرها كيماويا وذلك لمعرفة تركيز اليورانيوم كعنصر أساسي لإنتاج الطاقة. تمتاز هذه الدراسة بسهولتها و قلة تكاليفها و دقة نتائجها، و بالإضافة إلى ذلك فإن هذه التقنية يمكن مقارنتها مع (INAA: Instrumental Neutron Activation Analysis) تحليل تنشيط النيوترون ذو الدور الفعال.

تهدف هذه الدراسة إلى:-

1. قياس تركيز نظائر اليورانيوم ^{235}U , ^{238}U , ^{234}U في خامات الفوسفات الأردني المستخرج من مناجم مختلفة ومناجم مقترحة لليورانيوم بواسطة تقنية الانشطار للأنوية.
2. معرفة مدى نجاعة هذه الطريقة (الانشطار بواسطة النيوترونات).
3. مقارنة نتائج هذه الدراسة مع دراسات سابقة أجريت بطرق مختلفة لمعرفة نسبة اليورانيوم.
4. تعميم فكرة هذه الطريقة إذا ما ثبت نجاحها.

وقد تمت الدراسة على عينات مختلفة من مناجم الفوسفات الأردنية الفعالة: الحسا (130 كم جنوب عمان) و الأبيض (115 كم جنوب عمان) و الشيدية (125 كم شمال شرق العقبة) على الطريق الواقع بين مدينة معان و المدورة؛ الحدود الأردنية مع المملكة العربية السعودية إضافة إلى ذلك عينة فسفوجبسيم من العقبة . ويوضح الشكل (1-1) خارطة المملكة الأردنية الهاشمية و تظهر فيها مواقع مناجم الفوسفات الفعالة.



الشكل (1-1) : خارطة لمواقع مناجم الفوسفات في المملكة الأردنية الهاشمية.

ومن الدراسات السابقة في دراسة نسبة تركيز اليورانيوم ما قام به غرايبة (1998) من قياس تركيز العناصر الثقيلة بما فيها عنصر اليورانيوم في مناجم الفوسفات الأردني باستخدام تقنية تألق الأشعة السينية. وكانت أعلى نسبة لتركيز اليورانيوم 69ppm.

درست الباحثة الأحمد (Al-Ahmad, 2003) تركيز عنصري (^{238}U، ^{234}Th) في طبقات الفوسفات وعنصر (^{40}K) في الطبقات الجيولوجية التي تلي طبقات الفوسفات باستخدام مطياف أشعة جاما في مناجم الفوسفات الأردنية، وكانت أعلى نسبة لتركيز اليورانيوم 175ppm.

كما قامت الباحثة عُلا خليل (2006) بإيجاد تركيز اليورانيوم و الثوريوم في الفوسفات الأردني باستخدام كواشف الأثر النووي (CR - 39) ووجدت أن أعلى تركيز لعنصر اليورانيوم بلغ 145 ppm في منجم الحسا.

درس الجندي (Al-Jundi, 2002) تركيز^{238}U في مناطق قريبة من مناجم قديمة لإنتاج الفوسفات في الأردن (مدينة الرصيفة) عن طريق تركيز غاز الرادون المنبثق من الفوسفات. وكانت نسبة اليورانيوم في تلال الفوسفات 523.2 Bq /kg.

كما قام الباحث العابد (2000) بدراسة تركيز نسبة اليورانيوم في الفوسفات الأردني عن طريق التحليل الكيميائي وكانت نسبة اليورانيوم في الرصيفة 155 ppm وفي الحسا والأبيض 100 ppm و في الشيدية 125 ppm -59 وفي شمال الأردن الموجود في الكورة 130 ppm وفي غرب مطار الملكة علياء الدولي 220 ppm.

درس محرم وزملاؤه (Moharam et al., 2002) تركيز اليورانيوم في تربة مونتانا، وعينات من الفحم و رماد الفحم وأكسيد الزركونيوم (ماس صناعي)، و ذلك بتسليط نيوترونات حرارية مصدرها مفاعل بحث على العينات المحشوة بين كواشف (CR-39) على شكل ساندويتش، وحساب عدد الانشطارات الناتجة من اليورانيوم و بعد ذلك حساب تركيز نظائر اليورانيوم بمقارنة ذلك مع عينات قياسية تم لها نفس العملية. وكانت نسبة تركيز اليورانيوم في تربة مونتانا (0.18ppm) وفي الفحم $(4.18\pm0.31)\times10^{-3}$ppm وفي رماد الفحم $(7.7\pm 0.38)\times 10^{-2}$ ppm) وفي أكسيد الزركونيوم ppm (2.55± 0.13).

درس بازهير و زملاؤه (Bazohair et al., 2006) تركيز اليورانيوم في تربة وادي حضرموت بتسليط نيوترونات حرارية مصدرها (^{241}Am - Be) على العينات المحشوة بين كواشف (CR-39) على شكل ساندويتش وحساب عدد الانشطارات الناتجة من اليورانيوم و بعد ذلك حساب تركيز نظائر اليورانيوم بمقارنة ذلك مع عينات قياسية تم لها نفس العملية.

وكانت نسبة اليورانيوم تتراوح بين ppm (0.995± 0.19) و ppm (2.55± 0.13).

درس يامازاكي و جريولدو (Yamazaki and Geraldo, 2003) تركيز اليورانيوم في أسمدة البرازيل عن طريق تعريضها لمصدر نيوترونات في مفاعل بحث على العينات المحشوة بين كواشف بولي كربونات من نوع (Makrofol) على شكل ساندويتش وحساب عدد الانشطارات الناتجة من اليورانيوم و بعد ذلك حساب تركيز نظائر اليورانيوم بمقارنة ذلك مع عينات قياسية تم لها نفس العملية. وكانت نسبة اليورانيوم تتراوح بين ppm (5.17 to 54.3).

درس سعد وزملاؤه (Saad et al., 2003) تركيز اليورانيوم في مصر بمنطقة السويس و الصبيا عن طريق قياس تركيز غاز الرادون المنبثق من عينات الفوسفات بواسطة كاشف (CR-39). وكانت نسبة اليورانيوم في أسمدة السويس 7ppm و في أسمدة الصبيا 118 ppm.

قام لي وزملاؤه (Lee et al., 2006) بدراسة مدى حساسية كواشف بولي كربونات (polycarbonate) بتسليط نيوترونات حرارية على العينات تحتوي أكسيد اليورانيوم المحشوة بين كواشف بولي كربونات (polycarbonate) على شكل ساندويتش وحساب عدد الانشطارات الناتجة من اليورانيوم و ربط ذلك بكمية اليورانيوم التي تحتويها العينات ومقارنة النتيجة مع كواشف (CR-39).

قام ناتشب و زملاؤه (Nachab et al., 2004) بدراسة تركيز عنصري (^{238}U، ^{234}Th) في الفوسفات المغربي باستخدام مطياف أشعة جاما مع محاكاة ذلك ببرنامج مونتي كارلو ومقارنة دراستهم بنتائج تم الحصول عليها باستخدام تقنية كواشف الأثر النووي (CR-39) و(LR115). وكانت نسبة اليورانيوم في الفوسفات المغربي Bq/kg (166 ±3342).

درس يوشيوكا و زملاؤه(Yoshioka et al., 2005) ثابت انحلال الانشطار التلقائي لأنوية اليورانيوم وثابت انحلال جسيمات ألفا بتعريض مادة تحتوي على اليورانيوم إلى مصدر نيوترونات بحيث تكون العينات المحشوة بين كواشف DAP و CR-39 على شكل ساندويتش كلاً على حده، وحساب عدد الانشطارات الناتجة من اليورانيوم باستخدام مجهر بصري مركب و بمقارنة ذلك مع عينات قياسية تم لها نفس العملية.

وكان ثابت انحلال الانشطار التلقائي لأنوية اليورانيوم $(8.51\pm 0.18)X10^{-17}\ yr^{-1}$

وثابت انحلال جسيمات ألفا $(1.55 \pm 1.25)X10^{-10}\ yr^{-1}$.

ولقد جاءت هذه الدراسة في خمسة فصول:

يتعلق الفصل الأول الحالي بالمقدمة ويغطي الفصل الثاني الجانب النظري من الموضوع في حين يغطي الفصل الثالث الجانب العملي منه. و سوف يتم استعراض النتائج في الفصل الرابع مع مناقشة وافية لها و أخيرا استعرض الخاتمة و الاستنتاجات في الفصل الخامس.

الفصل الثاني

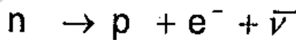
الخلفية النظريـة Back-Ground Theory

1-2: تاريخ النيوترون

يعتبر اكتشاف الانشطار النووي سنة 1939 الذي كان على يد العـالمين Hahn & Strassman (Meyerhof, 1967)، بداية عهد جديد للإنسان في استغلال الطاقة النووية الناتجة عن تحرير الطاقة الداخلية لنواة الذرة المنشطرة.

قـد يحـدث الانـشطار النـووي عنـدما تأسـر نـواة قابلـة للانـشطار كنـواة اليورانيـوم فتنفلق إلى نواتين مجموع كتلتيهما أقل من كتلة النواة المنشطرة ويرافق هذه العملية تحرير طاقة النواة الداخلية مع انبعاث نيوترون أو أكثر لكل انشطار وقد تتكرر هذه العملية عندما تأسر نواة انشطارية أخرى نيوترون من النيوترونـات المنبعثـة من الانشطار الذي سبقها فيحدث انشطار نـووي جديـد وبتكـرار هـذه العمليـة ينـشأ تفاعـل انـشطاري متسلـسل (International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002).

كما هو معروف إن النيوترون هو احد مكونات النواة الأساسية وهو غير قابل للتجزئة عندما يكون داخل النواة، أما في حالته الطليقة فهو جسيم غير مستقر يضمحل تلقائيا بعد متوسط عمر مقداره 12.8 دقيقة من خلال ما هو معروف بانحلال بيتا إلى بروتون و إلكترون و ضديد النيوترينو (Rusk. 1964) .



$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$$

ويتم تصنيف النيوترونات وفقا لطاقتها إلى (Karan, 1988) :

1 النيوترونـات السريعة (Fast Neutrons):تـشمل النيوترونـات التـي تقـع طاقتهـا بين 0.1–10 MeV.

2 النيوترونـات الحـارة (Hot Neutrons): تـشمل النيوترونـات التـي تقـع طاقتهـا بين 1keV – 0.1MeV.

3 النيوترونات فوق الحرارية (Epithermal Neutrons): تشمل النيوترونات التـي تقع طاقتها بين 1eV – 1keV.

4 النيوترونات الحرارية (Thermal Neutrons): هي نيوترونات تكون طاقتها حوالي 0.025 eV .

2-2: مصادر النيوترونات

يتم الحصول على النيوترونات من عدة مصادر:

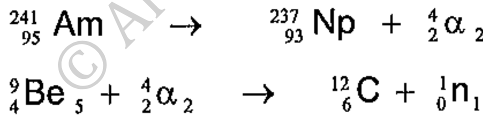
1 المفاعلات النووية وتعطي فيضاً قدره $3 \times 10^{14}\ n.s^{-1}.cm^{-2}$ (Kaplan, 1962).

2 المسارعات النووية وتعطي فيضاً قدره $10^{10}\ n.s^{-1}.cm^{-2}$ (Karan, 1988).

3 المصادر الانشطارية التلقائية مثل ^{252}Cf (كالفورنيوم 252) الذي نصف عمره 2.65 year، حيث يبلغ نصف قطر المصدر حوالي 1cm وطوله حوالي 5cm. و هذا المصدر يعطي فيضاً قدره $10^{7} - 10^{9}\ n.s^{-1}.cm^{-2}$ ، بحيث ينتج بمعدل 4 نيوترونات عن كل انشطار و يتم إنتاج النيوترونات بمعدل 2.3×10^{12} n/s لكل غرام من ^{252}Cf وتكون طاقة النيوترونات بمعدل 1−3 MeV (Karan, 1988).

4 مصادر مشعة تنتج عن تصادم جزيئات ألفا مع عناصر خفيفة مثل البيريليوم مع عنصر مشع يبعث جزيئات ألفا مثل أمريسيوم أو راديوم، و بخلط العنصرين مع بعضهما يعطينا فيضاً يتراوح بين $10^{6} - 10^{8}\ n.s^{-1}.cm^{-2}$ ، ويعطينا مصدر ألفا - بريليوم 30 نيوترون لكل مليون جزئية ألفا (Thompson and Rassool, 2001).

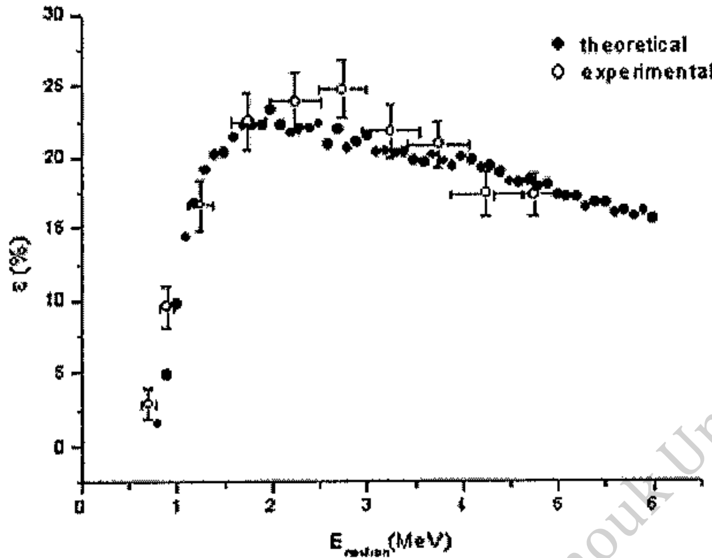
أما بالنسبة عن مصدر أمريسيوم ــ بريليوم فيحدث فيه التفاعل الكيميائي التالي:



$$^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{237}_{93}Np + {}^{4}_{2}\alpha_{2}$$

$$^{9}_{4}Be_{5} + {}^{4}_{2}\alpha_{2} \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n_{1}$$

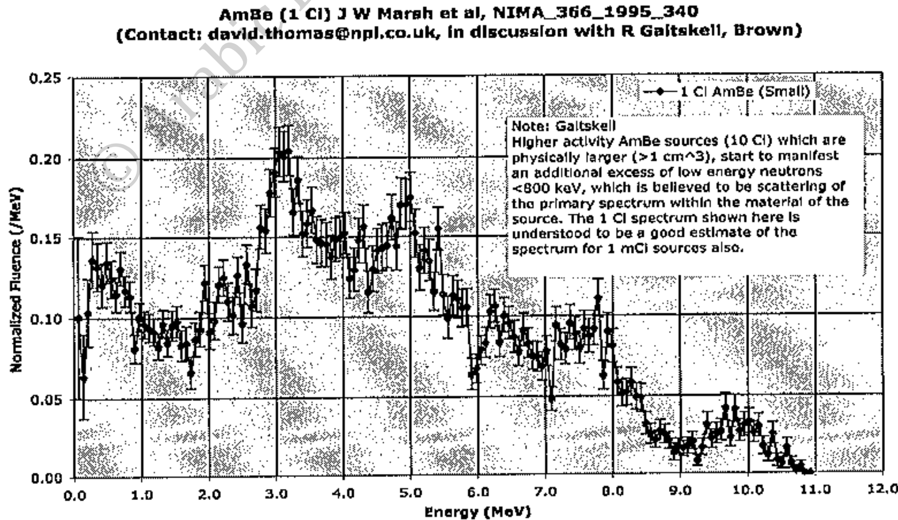
و تكون طاقة جسيمات ألفا التي تخرج من التفاعل بحوالي 3.7 MeV وهي كافية للتغلب على تنافر كولوم بين جسيم ألفا وذرة بريليوم بسبب قوة كولوم المنخفضة، وجسيم ألفا هو عبارة عن بروتونين ونيوترونين أو نواة ذرة الهيليوم، وبتفاعله مع ذرة البيريليوم ينتج عن هذا التفاعل نيوترونات بطاقات مختلفة، و يبين الشكل (2-1) النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة النظرية (Peeples, C. R. 2007).



الشكل (1-2): مقارنة كفاءة التجريبية و نتائج المحاكاة النظرية لمصدر ^{241}Am–Be.

ويتم إنتاج 70 نيوترون لكل MBq من ^{241}Am وتكون طاقة النيوترونات من 3- 6 MeV وبمعدل 5.5 MeV (Thompson and Rassool, 2001).

وفي الشكل(2-2) تمثيل للعلاقة بين طاقة النيوترونات وفيض النيوترونات (Peeples, C. R. 2007).



الشكل (2-2): العلاقة بين طاقة النيوترونات وفيض النيوترونات لمصدر ^{241}Am–Be.

3-2:إبطاء النيوترونات

في سنة 1934لاحظ العالم فيرمي أن النشاط الإشعاعي المستحث لأهداف تم قذفها بنيوترونات يزداد إذا مرت النيوترونات من خلال مادة هيدروجينية موضوعة أمام الهدف. و أوضح فيرمي و زملاؤه أن النيوترونات الخارجة من المادة الهيدروجينية حدث لها إبطاء بشكل واضح دون حدوث امتصاص لهذه النيوترونات عند مرورها من خلال المادة الهيدروجينية، و أن النيوترونات البطيئة يكون لها احتمالية أكبر لتشعيع الهدف من النيوترونات السريعة. وبعد ذلك قام فيرمي بدراسة عملية ونظرية على تحويل النيوترونات السريعة إلى نيوترونات بطيئة (Kaplan, 1962, pp.565).

فعندما تخرج النيوترونات من مصدر أمريسيوم – بريليوم تكون نيوترونات سريعة كما ذُكر سابقا، لذا لابد من إبطاء النيوترونات و تهدئتها للحصول على نيوترونات حرارية لحدوث الانشطار النووي عند تصادم النيوترونات الحرارية مع يورانيوم 235 .

أن لأنوية الذرات أهمية كبيرة في حدوث الإبطاء بحدوث عملية تشتت للنيوترونات أثناء تصادمها مع النوى، بحيث يكون فقدان الطاقة أثناء التشتت اكبر كلما كان الفرق بين كتلتي النيوترون و النواة أقل و لذا فالنيوترونات تتباطأ بشكل فعال أكثر أثناء التصادمات مع أنوية الذرات الأخف. الإبطاء الناشئ عن نقل طاقة حركة فقط للنوى هو الإبطاء أثناء التشتت المرن، أما أثناء التشتت غير المرن فالنيوترونات تتباطأ بشكل أقوى من هذا و لكن ليس إلى طاقة على قدر اختياري من الصغر. فمشارف طاقة عتبة التشتت غير المرن تقع عند طاقات $E \approx 1$ MeV و لا يمكن للطاقة المتوسطة للنيوترونات المتشتتة تشتتا غير مرن أن تقل كثيراً عن طاقة العتبة. ولذا لا يكون التشتت غير المرن جوهريا إلا عند إبطاء النيوترونات السريعة. فإن المسئول عن التشتت غير المرن هو في المقام الأول النوى ذات الأعداد الكتلية الكبيرة و المتوسطة. وتستخدم ظاهرة الإبطاء على النوى الخفيفة للحصول على النيوترونات الحرارية. و في عملية التشتت تحصل النواة على كمية حركة ارتداد بحيث أن طاقة النيوترون المتشتت تقل تبعا لذلك. و انخفاض طاقة الحركة هو انخفاض لسرعة الحركة و لهذا تسمى العملية بعملية إبطاء النيوترونات. و لا يتوقف الإبطاء إلا عند بلوغ منطقة طاقات الحركة الحرارية لجسيمات الوسط حيث يتساوى احتمالا كسب و فقد النيوترونات للطاقة وتعتمد فعالية الإبطاء على الخسارة المتوسطة في الطاقة في عملية تصادم واحدة للنيوترون مع النواة. وليس المهم أثناء إبطاء المادة للنيوترونات هو مقدار الخسارة في الطاقة في تصادم واحد، و إنما أيضا عدد أمثال هذه التصادمات في وحدة الحجم من المادة و

هذا ما يعرف بقدرة الإبطاء. إن قدرة الإبطاء تحدد كفاءة كل وحدة حجم من المادة في إبطاء النيوترونات. و كلما كانت قدرة الإبطاء أعلى كلما قل المقطع العرضي للامتصاص و كان المقطع العرضي للتشتت كبير- بحيث سيتم شرح المقطع العرضي لاحقاً- (Kaplan, 1962).

ولقد تم إجراء عدة تجارب على مواد مهدئه للنيوترونات الناتجة عن مصدر نيوترونات أمريسيوم241 – بريليوم، بحيث وجد أن المادة المستخدمة كمادة مهدئه معتدلة في هذا المصدر هي مادة الشمع (Paraffin) والجدول التالي يوضح ذلك (Thompson and Rassool, 2001).

الجدول (2-1): معدل التهدئة و قدرة الإبطاء لبعض المواد و العناصر.

Moderator	Density ρ (g / cm^3)	Slowing down Power S (cm^{-1})	Moderating Ratio M
Water	1.000	1.38	62.1
Heavy Water	1.105	0.179	46.16
Helium	1.79 X 10^{-4}0	8.68 X 10^{-5}	< 6.64
Beryllium	1.848	0.156	137
Carbon	2.000	0.075	220
Paraffin(CH_2)	0.91	1.63	62.4
Lead	11.35	0.0036	0.64

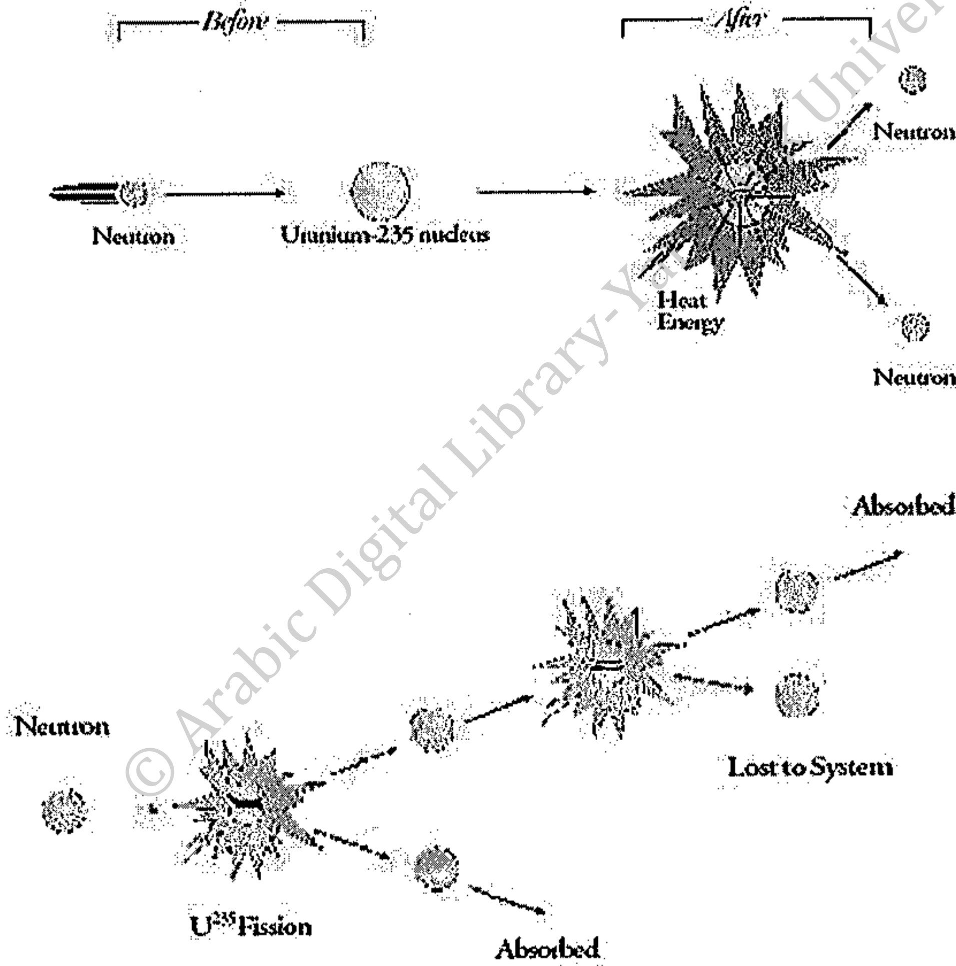
4-2: تفاعلات النيوترونات

أن النيوترونات جسيمات غير مشحونة و عند مرورها من خلال المادة تنتج كمية ضئيلة من التأين، بالنتيجة هذه لا يمكن الكشف عن النيوترون مباشرة من آلة (عداد غايغر، حجرة التأين) التي تعتمد بعملها على تأين سببه الجزيئة التي تدخلها. يعتمد كشف النيوترون على التأثيرات الثانوية التي تنتج عند تفاعل النيوترونات مع النوى ومن الأمثلة على هذه التفاعلات:

1 إمتصاص النيوترون بالنواة ليثريها لتبعث جسيم مشحون سريع.
2 إمتصاص النيوترون بانشطار النواة المركبة الناتجة.
3 إمتصاص النيوترون بتشكيل النواة المشعة الذي نشاطها يمكن أن يقاس.

4 تشتت النيوترون بالنواة الخفيفة، مثل البروتون، كنتيجة عن ارتداد النواة الخفيفة تصبح متأينه(Kaplan, 1960).

والشكل (2-3) يمثل تفاعل لنيوترون مع ذرة يورانيوم 235 ينتج عنها انشطار الذرة إلى شظايا وإنتاج نيوترونات قابلة للإمتصاص من ذرات أخرى ذلك (International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002).



الشكل (2-3): تفاعلات ناتجة عن تصادم نيوترون مع ذرة يورانيوم 235.

5-2: المقطع العرضي للتفاعلات النووية

لدراسة التفاعلات النووية بالتفصيل، من الضروري أن يكون لدينا مقياس كمّي لإحتمال حدوث التفاعل النووي المعيّن. هذه الكمية يجب أن تكون كمية يمكن قياسها بالأجراء التجريبي و يمكن حسابها نظرياً بحيث أن القيم النظرية والتجريبية يمكن أن تقارن بسهولة. هذه الكمية التي تستعمل في أغلب الأحيان لهذا الغرض لتفاعل معين في النواة يسمى المقطع العرضي (Cross Section) و يرمز له بالرمز σ. في مناقشة التفاعلات النووية، إن البحث التفصيلي في فكرة المقطع العرضي سيكون مفيداً. مفهوم المقطع العرضي النووي يمكن أن يكون يُصور بسهولة جداً كمنطقة المقطع العرضي أو منطقة الهدف التي تعرضت فيها النواة إلى جسيم ساقط. إذا اعتبرت الأنوية ككرات نصف قطر كل منها R سنتيمتر و الجزيئات الساقطة كمقذوفات نقطية فإن مساحة الهدف أو المقطع العرضي لكل نواة يعطى ب:

$$\sigma = \pi R^2 \ \mathrm{cm}^2 \qquad (2\text{-}1)$$

وهذا يمثل فكرة أولية عن مقدار المقطع العرضي لتفاعل نووي، ويسمى بالمقطع العرضي الهندسي، وعلى الرغم من أنه سهل وبسيط أن يقدم المقطع العرضي كمنطقة هدف للحصول على فكرة أولية للمقطع العرضي الهندسي، إلا أنه لا يؤخذ بجدية. ولكن حساب المقطع العرضي سوف يتم شرحه في البند (2-5-2). إن عدد العمليات التي تحصل لنوع معين من التفاعلات هو $N\sigma$ و ذلك لجميع الذرات التي توجد في كل سنتيمتر مكعب من المادة و يسمى بالمقطع العرضي الغير مجهري (macroscopic cross- section) وتكون وحدته cm^{-1}.

المقطع العرضي لتفاعل معين يتم تجسيده بوحدة ($10^{-24}\ \mathrm{cm}^2$) و تسمى هذه الوحدة ب barn ويتم اختصاراها ب b. يأتي المعنى التجريبي للمقطع العرضي كمقياس للتفاعلات النووية التي تحدث تحت الشروط التجريبية التي تم عرضها في البند (2-5-2)، و تكون القيم له تتراوح من كسور صغيرة إلى مئات الألف من بارن، وتختلف هذه القيم في أغلب الأحيان كثيراً عن المقطع العرضي الهندسي.يكون المقطع العرضي لنواة مختلف جداً من تفاعل إلى أخر ويمثل كل منها إحتمالية حدوث ذلك التفاعل (Kaplan, 1962).

2-5-1: المقاطع العرضية للنيوترون

عند مرور حزمة نيوترونات خلال هدف مادي وليكن شكله منتظم كما في الشكل (2-4) فيحدث تفاعلات نووية أو إصطدام بحيث يتم الاستدلال عن أي تفاعل نووي من خلال المقطع العرضي له. فمثلا نتكلم عن المقطع العرضي للاستطارة أو التشتت (σ_S) ، و يتكون المقطع العرضي لعملية الاستطارة من مقطع عرضي للاستطارة المرنة (σ_{el}) ومقطع عرضي للاستطارة غير المرنة (σ_{inel}) أي أن:

$$\sigma_s = \sigma_{el} + \sigma_{ine} \qquad (2-2)$$

عندما نشير إلى عملية الإمتصاص وما يرفقه من تفاعلات ذكرت سابقاً، فإن المقطع العرضي للامتصاص (σ_a) و يتم تمثيله:

$$\sigma_a = \sigma_c + \sigma_f \qquad (2-3)$$

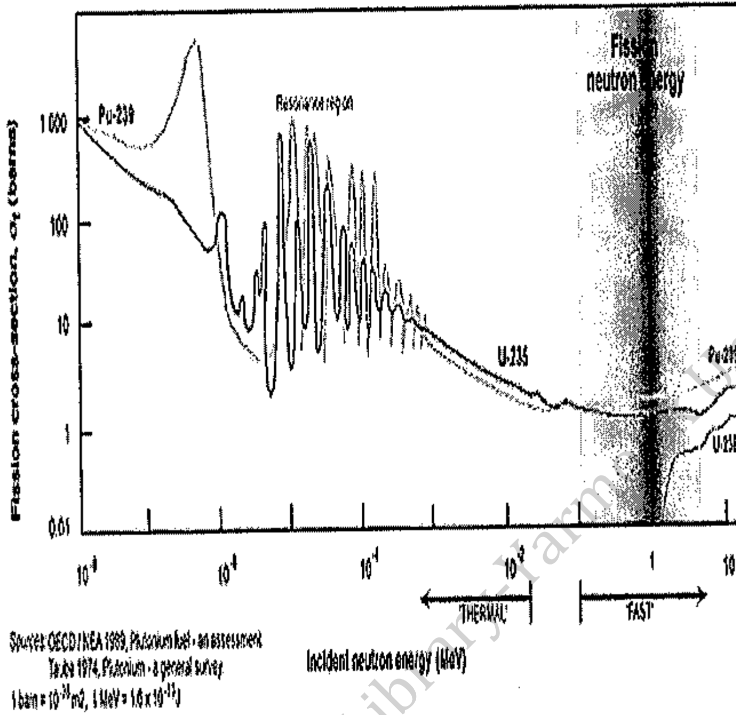
بحيث يمثل (σ_f) المقطع العرضي للإنشطار و(σ_c) مقطع عرضي لبقية التفاعلات التي تنتج من تفاعلات الإمتصاص. وعند تمثيل جميع التفاعلات النووية يتم تمثيلها بالمقطع العرضي الكلي (σ_t). و الذي يساوي مجموع المقاطع العرضية لجميع العمليات التي تحدث أثناء مرور حزمة النيوترونات خلال المادة، أي أن (Kaplan, 1962)

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a \qquad (2-4)$$

ومنها:

$$\sigma_t = (\sigma_{el} + \sigma_{inel}) + (\sigma_c + \sigma_f) \qquad (2-5)$$

والشكل (2-3) يمثل علاقة بين طاقة النيوترون و المقطع العرضي الانشطاري (World Nuclear Association, 2007).



الشكل (2-3): علاقة بين طاقة النيوترون و المقطع العرضي الانشطاري.

في حين أن الجدول (2-2) يوضح بعض القيم للمقاطع العرضية للنيوترونات الحرارية لنظائر اليورانيوم و بعض العناصر الأخرى (International Atomic Energy Agency (IAEA), 1974).

الجدول (2-2): عدد من المقاطع العرضية للنيوترونات الحرارية لنظائر اليورانيوم وعناصر أخرى.

النظير	σ_c	σ_f	σ_s
^{233}U	578±4	530±5	___
^{235}U	101±3	280±4	15±2
^{238}U	2.73	___	13.8±5.5
U (natural)	7.68±0.07	4.18±0.06	8.3±0.2
^{239}Pu	1028±6	742±3	9.6±0.5

2-5-2: تعيين المقطع العرضي

لإيجاد العلاقة بين المقطع العرضي و شدة حزمة النيوترونات الساقطة (I) و التي تقاس بدلالة شدة الفيض النيوتروني، أي عدد النيوترونات التي تمر خلال وحدة مساحة عمودية على اتجاه الحزمة في الثانية. فعند مرور حزمة متجانسة من النيوترونات خلال هدف مادي كصفيحة، مساحتها (A)، وسمكها (Δx)، و تحتوي على (N_o) نواة في السنتيمتر المكعب الواحد، فعندئذ مساحة الهدف النووي الفعال و المتيسر لحدوث التفاعلات النووية تساوي حاصل المقطع العرضي لكل نواة هدف في عدد نوى الهدف الكلي الذي تحتويه الصحيفة،أي إذا كان المقطع العرضي للنواة(σ)،عدد النوى الكلي ($N_o A \Delta x$) فأن مساحة الهدف أنووية المتيسرة تساوي:

$$(N_o \ A \Delta x)\, \sigma \qquad (2\text{-}6)$$

ومنها فأن احتمالية النيوترون الساقط لضرب مساحة الهدف هي نسبة هذه المساحة إلى المساحة الكلية(A) المعرضة للنيوترون الساقط.

أي احتمالية التصادم لكل نيوترون = $\frac{\text{مساحة الهدف النووية}}{\text{مساحة الهدف الكلية}}$ و تعطى بالعلاقة:

$$\frac{N_o A \Delta x \sigma}{A} = N_o \Delta x \sigma \qquad (2\text{-}7)$$

بضرب المعادلة السابقة بالعدد الكلي للنيوترونات الساقطة على مساحة الهدف في الثانية. ويمثل هذا العدد حاصل ضرب شدة حزمة النيوترونات (الفيض) في المساحة (A). أي أن عدد النيوترونات الساقطة في الثانية = (I A)

لنحصل على عدد التفاعلات النووية بالثانية (r)التي تمثل بالعلاقة التالية:

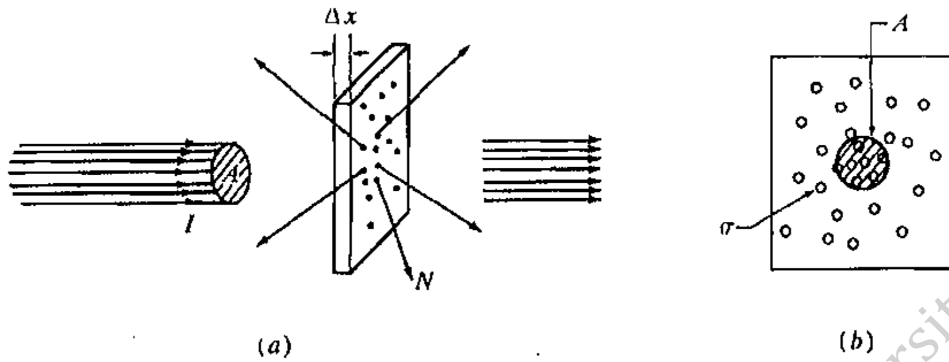
وعدد التفاعلات النووية في الثانية =

(احتمالية التصادم لكل نيوترون) x (عدد النيوترونات الساقطة في الثانية).

$$r = (\sigma \Delta x \ N_o) \times (I A) = (N_o \sigma \ I V) \qquad (2\text{-}8)$$

حيث (V) يمثل حجم الهدف و يساوي ($A \Delta x$)، وتكون العلاقة بالنسبة لعدد التفاعلات النووية في الثانية لكل وحدة مساحة كما في العلاقة التالية (Meyerhof, 1967):

$$r_A = \frac{r}{A} = (N_o \Delta x I \sigma) \qquad (2\text{-}9)$$

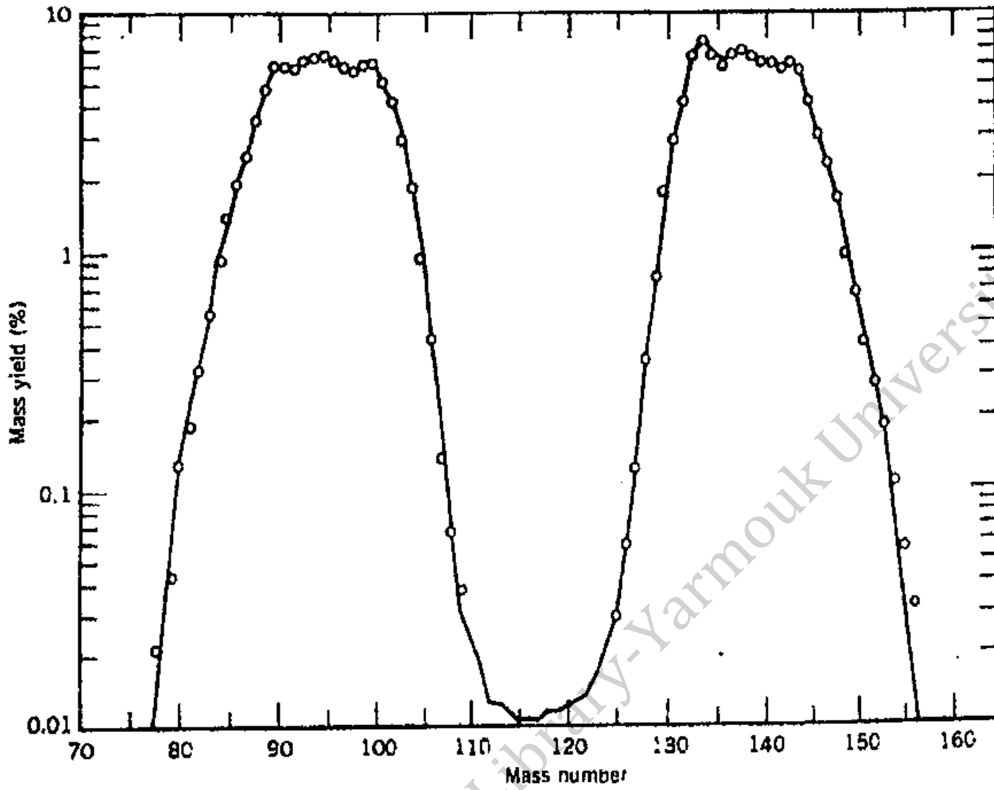


الشكل(2-4): أساسيات الإجراءات التجريبية لحساب المقطع العرضي لتفاعل نووي. (a) المنظر الجانبي. (b) المنظر الطولي لاتجاه الحزمة (Meyerhof, 1967).

6-2: نواتج الانقسام

يتكون عند انقسام نوى U^{235} بواسطة النيوترونات الحرارية أكثر من ثلاثين زوجا مختلفا من الشظايا ذات الكتلة غير المتساوية في الغالب بحيث يساوي مجموع العددين الكتليين للشظايا الناتجة 234 لأن الذي ينقسم فعلا هو النواة ^{236}U ويرافق انقسام النواة المستثارة انبعاث نيوترونين. في حين يبين الشكل (2-4) توزيع محاصيل نواتج الانقسام كدالة للعدد الكتلي بحيث نلاحظ وجود مجموعتين،المجموعة الأولى مجموعة الكتل الخفيفة بالأعداد الكتلية من 85 إلى 104، والمجموعة الثانية مجموعة الكتل الثقيلة بالأعداد الكتلية من 130 إلى 149 بحيث يكون معدل الأعداد الكتلية لنواتج الانقسام يتراوح بين 95 إلى 140(Kaplan, 1962).

إن انحلال β لا يغير العدد الكتلي وإنما انتمّاء الذرة الناتجة إلى عنصر كيميائي. ولذا فمحصول أول ذرة مشعة هو نتاج كل السلسلة ذات العدد الكتلي المعلوم. إن أكبر نتاج هو 6%، أي أن التكون في ست حالات من مائة حالة انقسام له أعداد 95 إلى 140 (Littlefield & Thorley,1968). و وجد تقريبا 87 احتمالاً لتكون كتل لها أعداد كتلية تتراوح بين 72 إلى 158، ووجد أكثر من 40 طريقة لانقسام نوى ^{235}U، و أكثر من 60 ناتج أولي تم الحصول عليها من انقسام مباشر (Kaplan, 1962). والانقسام إلى جزأين متساويين حيث (A= 117) ضئيل الاحتمال بحيث يتراوح 600 حالة من أكبر محصول لشظايا الانقسام كما يوضح الشكل التالي (Karan, 1988).



الشكل (2-5): نواتج إنقسام يورانيوم 235.

2-7: طاقة شظايا الانقسام

توزيع الطاقة الحركية لنواتج الانقسام مشابه لتوزيع كتل الانقسام، بحيث يمكن حساب تأين النواتج بواسطة حجرة التأين. فأول أنواع الحُجر، يتم وضع المادة الانشطارية على أحد الأقطاب الكهربائية و الأيونات الناتجة هي عبارة عن نواتج الانقسام تدخل بين الأقطاب الكهربائية المجمعة. بحيث تكون نواتج الانقسام في هذا الحدث ثنائية، ففي هذا النوع من الحُجر يتم قياس طاقة جزء واحد من الانقسام. وفي أنواع أخرى لحُجر التأين، يتم صنع رقاقة رقيقة جداً تعمل كقطب سالب مشترك لحجرتين تأين متقابلتين. الشظيتين الناتجتين عن تسليط النيوترونات تذهبان في اتجاهين متعاكسين إلى داخل كل حجرة و يتم في هذه الحالة دراسة تأين الشظيتين في وقت واحد. النواة التي تمر بالانشطار يمكن أن تعتبر في البداية مستقرة، و بتجاهل النيوترونات المنبعثة عند الانشطار، و بتطبيق مبدأ حفظ الزخم ($m_1v_1 = m_2v_2$) ذلك على شظيتين الانقسام بحيث تمثل (m_2 ,m_1) كتل الشظايا و (v_2, v_1) سرعة الشظايا الناتجة، ومن ذلك يتم إشتقاق العلاقة لمعدل طاقة الشظايا في العلاقة التالية (Kaplan, 1962):

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{\frac{1}{2}m_1{v_1}^2}{\frac{1}{2}m_2{v_2}^2}=\frac{m_2}{m_1} \qquad (2\text{-}12)$$

وعند التطبيق القيم التي تم الحصول عليها عمليا لطاقة الشظية التي عددها الكتلي 95 وطاقة الشظية التي عددها الكتلي 140 كما يبين الجدول (2-3)، بحيث كانت النسبة بين طاقتين الشظيتين هي 0.67 = 66 MeV/98 MeV و النسبة بين الأعداد الكتلية هي $0.68 = (140/95)^{-1}$ وهي قيم متساوية تقريباً. (Karan, 1988).

الجدول (2-3):الخصائص المميزة الابتدائية للشظايا الخفيفة و الثقيلة ذات القيم الأكثر احتمالا لعدد الكتلة.

الشظية	A	Z	E, MeV
خفيفة	95	42	98
ثقيلة	140	58	66

8-2: كواشف الحالة الصلبة للمسارات النووية (SSNTDs)

عرفت كواشف الحالة الصلبة (SSNTDs) بالصدفة عام 1958 حيث لاحظ العالم يونج (D. A. Young) ظهور حفر صغيرة على بلورات فلوريد الليثيوم القريبة من صفائح اليورانيوم و ذلك بعد معالجتها كيميائيا، وفسر تكون هذه الحفر إلى تحلل أنوية اليورانيوم. بعد ذلك تم تطوير كواشف الحالة الصلبة من حيث نوعيتها و كفاءتها و ملاءمتها لأغراض الكشف عن الإشعاعات النووية و الجسيمات المشحونة كما طورت عمليات تظهير وتوضيح المسارات (Durrani & Ilic,1997).

ويمكن تقسيم كواشف الحالة الصلبة إلى نوعين:

- كواشف الحالة الصلبة غير العضوية مثل: الكوارتز و الميكا.
- كواشف الحالة الصلبة العضوية (اللدائنية) مثل نترات السيليلوز و كربونات عديد الاليل دايجليل و المعروف تجاريا باسم CR-39 و هو المستخدم في هذه الدراسة.

9-2: ميزات و خصائص كواشف الحالة الصلبة

تتكون هذه الكواشف من مواد عازلة كهربائيا حيث تقدر مقاومتها النوعية بحوالي 2000 Ω.cm. وتتميز هذه الكواشف بعدد من الميزات جعلتها أكثر انتشاراً من غيرها لصغر حجمها و خفة وزنها ورخص ثمنها و قابليتها للتمييز بين الأجسام المؤينة المختلفة و قابلية استخدامها في الأماكن المفتوحة.كما أنها تحتفظ بالآثار التي تتركها الجسيمات المشحونة الساقطة عليها على شكل مسارات يتراوح قطرها بين (3 -10 nm) وبالتالي لابد من عملية تجرى على هذه الكواشف الصلبة لتثبيت و تظهير هذه المسارات ويطلق على هذه العملية الحفر الكيميائي Chemical Etching، ولرصد هذه المسارات بعد العملية السابقة يستخدم مجهر مركب أو ماسح ضوئي أن أمكن (Fleishcher et al, 1975).

10-2: الكاشف CR-39

يمتاز الكاشف (CR-39) بحساسية عالية للجسيمات المشحونة الثقيلة مثل دقائق ألفا و شظايا الانشطارات النووية فجهد عتبة الكشف (أقل جهد لجسيم يتم رصده على الكاشف) هو: ($<0.05 MeV/mg.cm^2$)، وله تركيب جزئي ($C_{12}H_{18}O_7$) و وزن جزيئي (274 amu) وكثافته ($1.32\ g/cm^3$) و يصنع بسماكات مختلفة تتراوح بين (250 μm – 1mm) و قيمة(K_{wet}) كفاءة تسجيل الحفر الناتجة عن الانشطارات في ^{235}U في (10^{-4} cm) لكثافة المادة (gm/cm^3) هي 10.3 والخطأ في قياس هذه الكمية بين (3- 5 %). و يستطيع الاحتفاظ بالمسارات النووية بعد تظهيرها لمدة طويلة.

وهذه المسارات لا يمكن رؤيتها إلا باستخدام المجهر المركب بعد إجراء عملية التظهير التي تعتمد على نوع المادة المستخدمة في التظهير وتركيزها و درجة الحرارة التي يتم فيها التظهير. ويعتبر الكاشف (CR-39) من أكثر الكواشف شيوعا لما يمتاز به من خصائص سبق ذكرها (Kalsi et al., 2005).

11-2 : آلية تكون المسارات

يمتاز نوعا الكواشف الصلبة – العضوية و غير العضوية – بتركيب ذي سلاسل جزيئية طويلة، مما يزيد من حساسيتها في تكوين مسار للجسيم الساقط. فالجسيمات المشحونة الساقطة على هذه الكواشف – مثل جسيمات ألفا و البروتونات و الأيونات الثقيلة- تفقد جزءا من طاقتها بسبب التأين و التهيج التي تحدثه هذه الجسيمات في مكونات الكاشف حيث يحدث تفاعل كهروستاتيكي بين

الجسيمات الساقطة مع الكترونات و أنوية مكونات الكاشف و بالتالي يتكون ما يسمى بمسارات الأثر النووي Nuclear Track (Durrani & Bull, 1987).

يعتمد شكل و حجم المسار على كل من طبيعة و طاقة الجسيم الساقط و زاوية السقوط و نوعية الكاشف الصلب، ففي الكواشف اللدائنية يعمل الجسيم المشحون الساقط على تهييج من جزيء إلى أخر، أما الالكترونات فتتحد مع بعض الجزيئات و تكون أيونات سالبة أو تتحد مع بعض الايونات الموجبة و تكون جزيئات مثارة، و إذا حصلت هذه الجزيئات المثارة و الايونات على طاقة اهتزازية فإن الروابط بينها قد تتحطم و تتحول إلى جزيئات متعادلة و جزيئات حرة مما ينتج سلاسل محطمة من الجزيئات. و قد وضع نموذجان لتفسير آلية تكون المسارات في الكواشف الصلبة و هما نموذج الومضة الحرارية و نموذج الانفجار الأيوني (Durrani & Bull, 1987).

2-12: نماذج تفسير آلية تكوين المسارات النووية في كواشف الحالة الصلبة

2-12-1: نموذج الومضة الحرارية

يفترض هذا النموذج أن الجسيم المشحون الساقط على مادة الكاشف يتفاعل حراريا معها حيث يعمل على تسخين منطقة السقوط فترتفع حرارة منطقة السقوط مما يؤدي إلى تدمير المنطقة التي سقط عليها الجسيم، وبسبب سوء التوصيل الحراري فإن هذا التدمير لا ينتقل إلى المناطق المجاورة بل يتمركز في منطقة السقوط (Durrani & Vineyard, 1987).

ويعتمد فقدان طاقة الجسيم الساقط على نوعية مادة الكاشف حيث تفقد الطاقة في المواد الموصلة على شكل تصادمات بين الالكترونات المتحررة بفعل سقوط الجسيمات المشحونة عليها. وبما أن زمن الاسترخاء للالكترونات أقل من زمن تفاعل الإلكترون مع الفونون فإن التهييج الناتج من سقوط الجسيمات المشحونة ينتشر بحجم كبير من المادة و بواسطة الالكترونات فتصبح الومضة الحرارية عريضة و غير مركزة و هذا ما يجعل المعادن غير قادرة على إظهار المسارات النووية.إن فقدان الطاقة في المواد العازلة يكون من خلال تفاعل الالكترونات المحررة مع الفونونات حيث يتمركز التهييج في الشبكة البلورية و بالتالي تكون ومضة حرارية مركزة في مكان سقوط الجسيم المشحون فقط و الذي يعرف بالمسار النووي (Durrani & Bull, 1987).

2-12-2: نموذج ومضة الانفجار النووي

يفترض هذا النموذج أن التفاعل بين الجسيم المشحون و مادة الكاشف يكون تفاعلا كهربائيا، حيث يفقد الجسيم الساقط يفقد من طاقته الحركية نتيجة لحدوث استقطاب ذرات مادة الكاشف فيحدث تأيين لذرات، بفعل الانتقالات عبر مستويات الطاقة العليا، وتسبب هذه الطاقة كسر الروابط الجزيئية و تكوين المسارات النووية عند تأثير الذرات لمنطقة السقوط والجزيئات بمسير الايونات الناتجة التي تتنافر مع بعضها عندما يكون زمن إعادة اتحاد الإلكترون مع الأيون أكبر من زمن اهتزاز الشبيكة البالغ (10^{-13}) ثانية، و هذا التنافر يدفع الأيونات إلى أماكن مقحمة في الشبيكة و من ثم تتعادل هذه الأيونات في هذه الأماكن. وتظهر المسارات أذا زادت طلقة الجسيم عن طاقة العتبة بحيث أن يكون جهد الجسيم المصطدم اكبر من قوة الترابط الميكانيكية لمادة الكاشف.

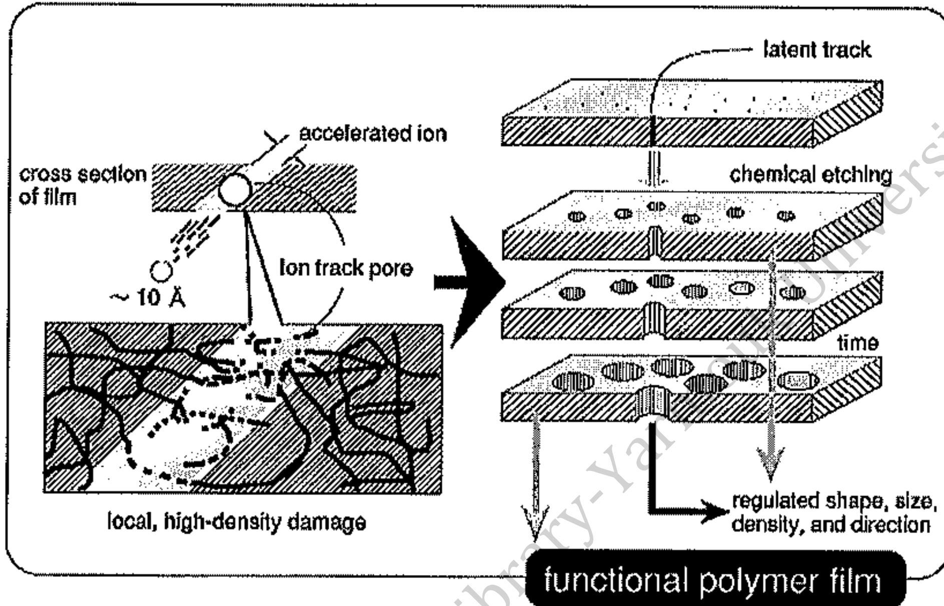
يتضح من هذين النموذجين أن مادة الكاشف يجب أن تكون مصنوعة من مادة عازلة كهربائيا حتى تتمكن مادة الكاشف من تكوين المسارات النووية و الاحتفاظ بها، و هذا ما تمتاز به كواشف الحالة الصلبة اللدائنية ومنها الكاشف المستخدم في هذه الدراسة (CR-39) (Durrani & Bull, 1987).

13-2: عملية حفر المسارات وتظهيرها.

إن المسارات التي تتركها الجسيمات المشحونة في سطوح الكواشف الصلبة ذات قطر صغير جدا كما ذكرنا سابقا حيث لا تظهر باستخدام المجهر المركب إلا بعد إخضاعها لعملية الحفر الكيميائي و التي تقوم بتثبيت وتكبير المسارات، و تعتمد ملية الحفر على أساس إذابة و حفر المناطق المدمرة – المسارات – بشكل أكبر و أسرع من المناطق غير المدمرة، و يحدد ذلك عاملان هما: معدل سرعة تآكل المنطقة المدمرة و معدل سرعة تآكل المنطقة غير المدمرة. فالأولى تعتمد على الاتجاهات البلورية كما تعتمد على عمق المسار داخل الكاشف و كذلك على مقدار التدمير الحاصل في منطقة المسار و بالتالي على خواص الجسيم المسبب للمسار، أما الثانية فتعتمد على الاتجاهات البلورية و عمق المسار داخل الكاشف فقط (Durrani & Ilic,1997).

وتختلف عملية الحفر – من حيث نوع المادة وتركيزها و درجة الحرارة وزمن الحفر – حسب نوع الكاشف، فمثلا عند حفر الكواشف اللدائنية يتم استخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) بتركيز بين مول واحد و 12مول وبزمن يختلف من كاشف لآخر و عند درجة حرارة بين 40 إلى 70 درجة مئوية، و أما في الكواشف العضوية مثل الكوارتز والميكا فيتم استخدام محلول الهيدروفلوريك (HF) بتركيز (48%) عند درجة حرارة الغرفة. وفي بحثنا استخدمنا محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز 6.25M على درجة حرارة 70 درجة مئوية و لفترة زمنية تصل إلى 8 ساعات

(Durrani & Bull, 1987). الشكل (6-2) يوضح آلية تكون المسارات و شكل الحفر بعد تظهيرها على كاشف CR39 (Japan Atomic Energy Research Institute, 1996).



الشكل (6-2): آلية تكون المسارات و شكل الحفر بعد تظهيرها على كاشف CR39.

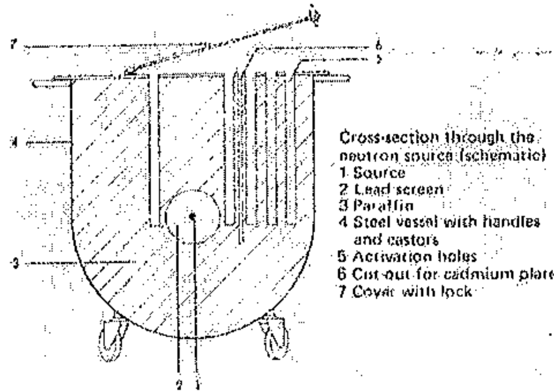
الفصل الثالث

تقنية التجربة Experimental

1-3: جهاز الامريسيوم- بريليوم للنيوترونات ومواصفاته.

لتشعيع العينات بالنيوترونات تم استخدام الجهاز الموجود في مختبر البحث و الذي يحتوي على مصدر نيوترونات (Am-Be) يعطينا نشاطا بمقدار(3.5 mCi) بخلط (3.5*mg*) من عنصرين أمريسيوم 241 و بريليوم، ويطلق المصدر جسيمات ألفا ونيوترونات سريعة شدتها ($5x10^4$ $n/s.cm^2$)، ويكون المصدر محاط بقشرتين أحدهما مصنوعة من النيكل والأخرى من الفولاذ في حيز سمكه(70 mm)، ولإبطاء النيوترونات السريعة يكون الجهاز محاط بالكامل من الداخل بمادة الشمع لإنتاج نيوترونات حرارية. أما بالنسبة لوصف الجهاز فهو عبارة عن وعاء فولاذي على شكل نصف كرة مقطعه الأعلى أسطواني قطره (610 mm)، يوجد فيه (4 فتحات اسطوانية) رئيسية حول المصدر على بعد(100 mm) تتعرض لنفس كثافة النيوترونات، ويوجد فتحات أخرى موجودة على شكل قوسي على أبعاد (150، 200، 250) مليمتر و يكون قطر كل فتحه بالجهاز (23 mm)، و يوجد في كل فتحة لاقط بلاستيكي لوضع العينات، ويتم تغطية الفتحات بغطاء علوي للجهاز مصنوع من الفولاذ. ويكون ارتفاع الجهاز (700 mm) تقريبا ووزنه (200 kg) تقريبا.

يبين الشكل (3-1) رسما تخطيطيا لمصدر النيوترونات أمريسيوم- بريليوم الذي استخدم في هذه الدراسة.

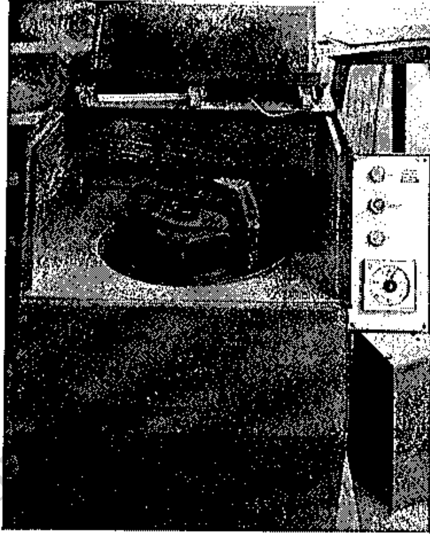


الشكل (3-1): رسم تخطيطي لجهاز الامريسيوم- بريليوم للنيوترونات.

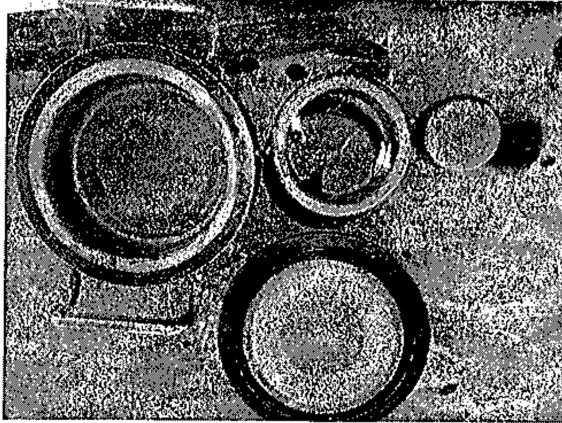
3-2: عينات الدراسة

اشتمل البحث على 35 عينة مختلفة مأخوذة من أعماق مختلفة من مناجم الحسا و الأبيض و الشيدية ومصنع فسفوجبسيم في العقبة وكان توزيع العينات من هذه المناجم كالتالي:

18عينة من منجم الشيدية و 8 عينات من منجم الحسا و 8 عينات من منجم الأبيض و عينة من فسفوجبسيم. طحنت جميع عينات البحث بواسطة طاحونة اهتزازية الموضحة في الشكل (3-2) تابعة لورشة الجيولوجيا بحيث تم وضع المادة المراد طحنها في وعاء داخله أسطوانة مصمتة و أسطوانة أكبر منها مفرغة مصنوعتين كبريد التنغستون الموضح في الشكل (3-3)، تطحن المادة و ترج داخل الطاحونة لمدة دقيقتين لكل عينة، وحصلنا على عينات حبيباتها صغيرة ذات أقطار تتراوح بين (160 - 250µm).

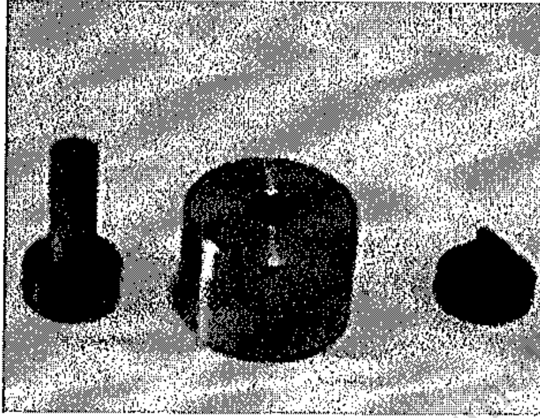


الشكل (3-2): صورة الطاحونة الاهتزازية الموجودة في ورشة الجيولوجيا.

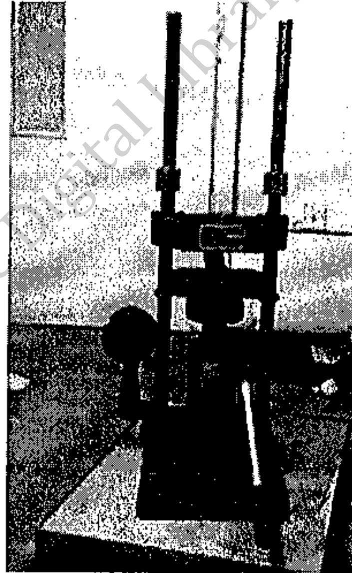


الشكل (3-3): صورة لوعاء الطاحونة بجانبه أسطوانة مصمتة و أسطوانة أكبر منها مفرغة مصنوعتين كبريد التنغستون إضافة إلى غطاء الوعاء.

تم وضع كمية تتراوح بين (0.5 – 0.75 g) بالجهاز مسمى (Dell) الموضح في الشكل (3- 4) من كل عينة، وتعرض الكمية الموضوعة بالجهاز السابق لضغط 3.5 ton بواسطة مكبس هيدروليكي الموضح في الشكل (3- 5).

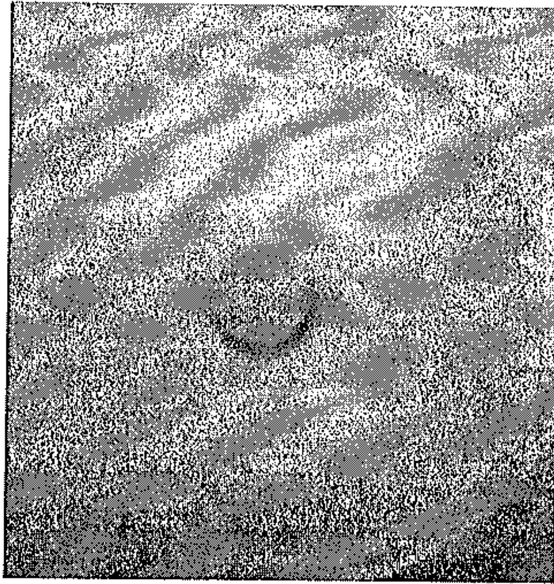


الشكل (3- 4): صورة لجهاز (Dell).



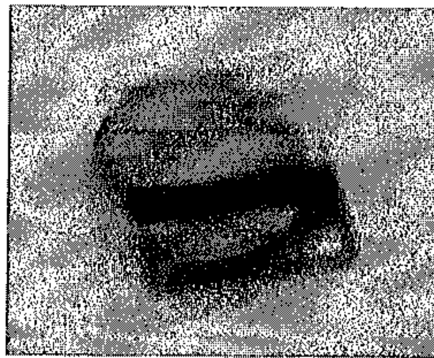
الشكل (3- 5): صورة لمكبس هيدروليكي.

تتشكل أقراص بقطر 1.5 cm وبسماكات مختلفة تتراوح بين (1 – 2 mm) بعد إخراجه من جهاز(Dell) والشكل (3- 6) يوضح ذلك.



الشكل (3-6): صورة لقرص تم تحضيره من منجم الحسا.

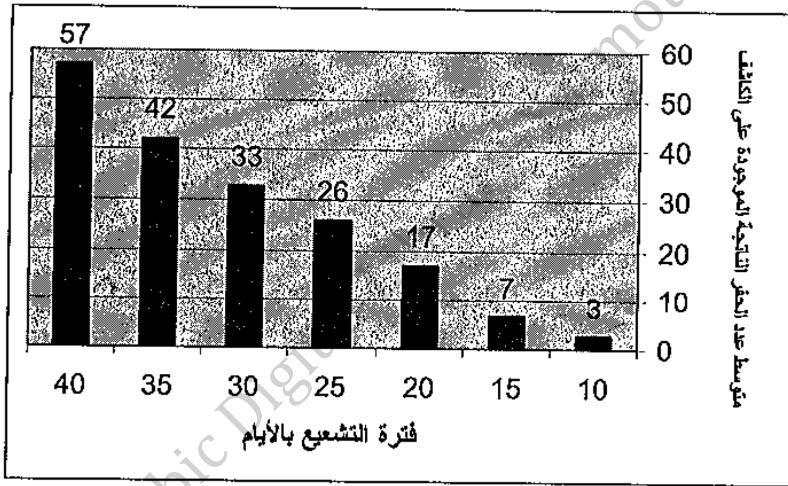
تم وضع هذه الأقراص على شكل ساندويتش بين قطعتين من كواشف الحالة الصلبة (CR-39) و يكون شكل القطعة مربعة ذات أبعاد (1.5 X 1.5 cm)، حيث تم حفر على كل كاشف رمز يدل على المنجم بالزاوية العليا اليمنى ورقم خاص يدل على العمق بالزاوية العليا اليسرى ورقم يدل على رقم القطعة بالزاوية السفلى اليسرى وذلك لتسهيل عملية جمع المعلومات و التمييز بين كواشف العينات المختلفة، و للحفاظ على شكل ساندويتش تم تثبيت القطعتين بواسطة أوراق لاصقة شفافة لتجهيزها لمرحلة تشعيع العينات كما في الشكل(3- 7).



الشكل(3- 7): صورة قرص لعينة محصورة بين قطعتين من كواشف (CR-39) على شكل ساندويتش.

3-3: معايرة فترة التشعيع

بعد الإطلاع على دراسة بازهير الذي قام بدراسته بتعريض العينات لمصدر النيوترونات (^{241}Am –Be) له نفس شدة المصدر المستخدم في هذه الدراسة تقريبا و مقارنتها بعينات معيارية لفترة زمنية مدتها عشرة أيام (Bazohair et al., 2006)، بحيث تم تجريب هذه الفترة عينة فوسفات من منجم الشيدية ورصد الحفر الكبيرة الناتجة عن ذلك الموجودة على الكاشف التي كان متوسط عدده يتراوح بين (5 -1) حفر لكل مليمتر مربع، وبعد ذلك تم زيادة مدة فترة التشعيع في كل مرة خمسة أيام لإيجاد متوسط لعدد الحفر الناتجة عن التشعيع يكون له منطق الحسابات التجريبية، بحيث يبين الشكل التالي العلاقة بين فترة التشعيع و متوسط عدد الحفر الناتجة عنه.

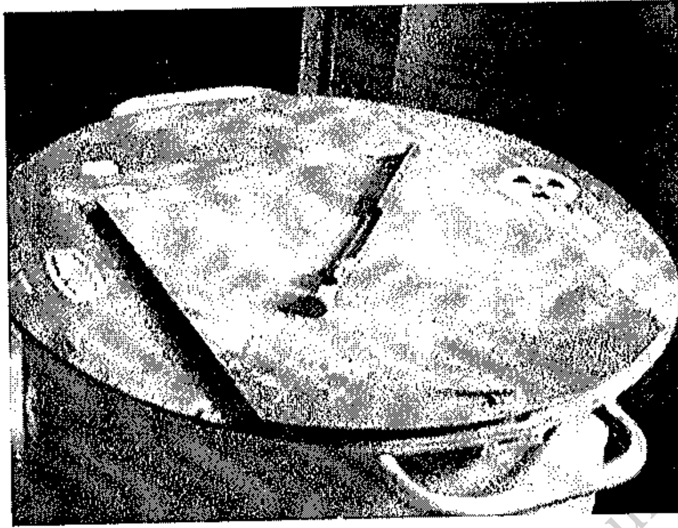


الشكل (3-8): العلاقة بين فترة التشعيع و متوسط عدد الحفر الناتجة الموجودة على الكاشف.

وبعد ذلك تم اختيار فترة تشعيع 20 يوم لمنطقيتها في الحسابات التجريبية بالإضافة لعدم طول فترة التشعيع بالمقارنة لفترة تعريض العينات بدراسات أخرى تم قياس فيها تركيز اليورانيوم.

4-3: تشعيع العينات

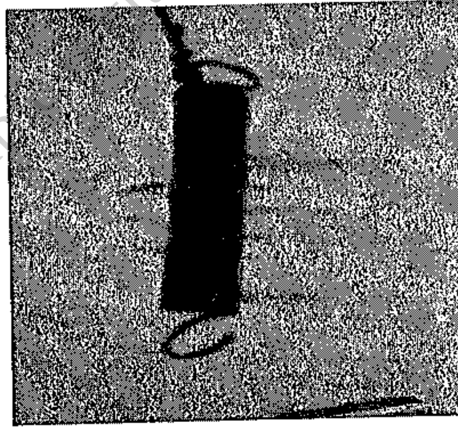
تم وضع العينات التي تم تحضيرها بشكل موازي (وضع أفقي) لمصدر الإشعاع بتثبيت ثلاث عينات في كل لاقط بلاستيكي بواسطة أوراق بلاستيكية شفافة لاصقة ووضعه على بعد (100 mm)، وتركت هذه العينات في جهاز الامريسيوم- بريليوم للنيوترونات فترة التشعيع عشرين يوم التي تم معايرته، و الشكل (3-9) يبين لاقط بلاستيكي مثبت عليه العينات.



الشكل (3-9): صورة للاقط بلاستيكي مثبت عليه العينات موجود على الجهاز.

3-5: تظهير الحفر على الكاشف (CR-39)

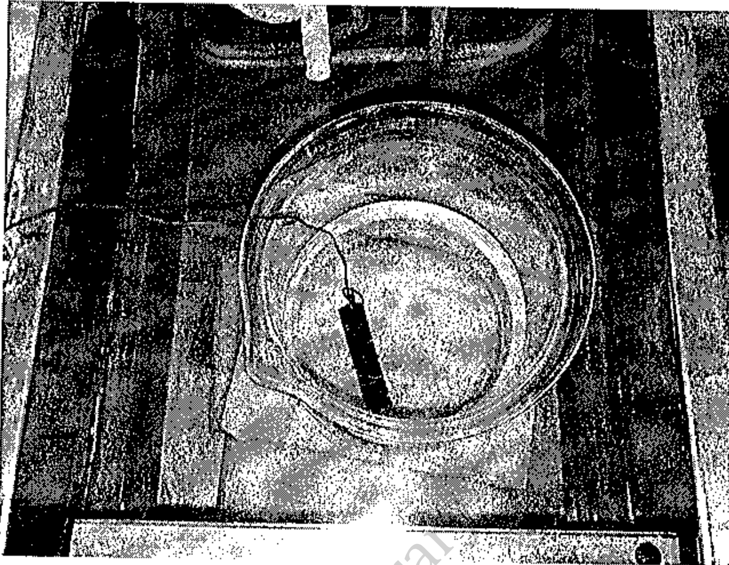
بعد انتهاء الفترة الزمنية المحددة تم أخراج العينات من مصدر النيوترونات و نزع الكواشف عن العينات وتثبيت أطراف الكواشف بنابض والشكل (3-10) يوضح ذلك.



الشكل (3-10): صورة لكواشف (CR-39) مثبته بنابض.

تم تحضير محلول هيدروكسيد الصوديوم بمولريتي (6.25 M)، ثم وضع المحلول في جهاز الحمام المائي الذي يقوم بتثبيت درجة حرارة المحلول عند درجة حرارة (70 ^{o}C)، بحيث عند الوصول لهذه الدرجة يتم وضع الكواشف المثبتة بالنابض في المحلول لإجراء عملية التظهير التي تستمر لمدة 8 ساعات و الشكل (3-11) يوضح ذلك، وبعد الانتهاء من عملية التظهير تنظف

الكواشف باستخدام الماء المقطر لإزالة أثر المحلول عن الكواشف و من ثم تجفف وبعدها نقوم بإجراء العد لمسارات الأثر النووي على الكواشف.

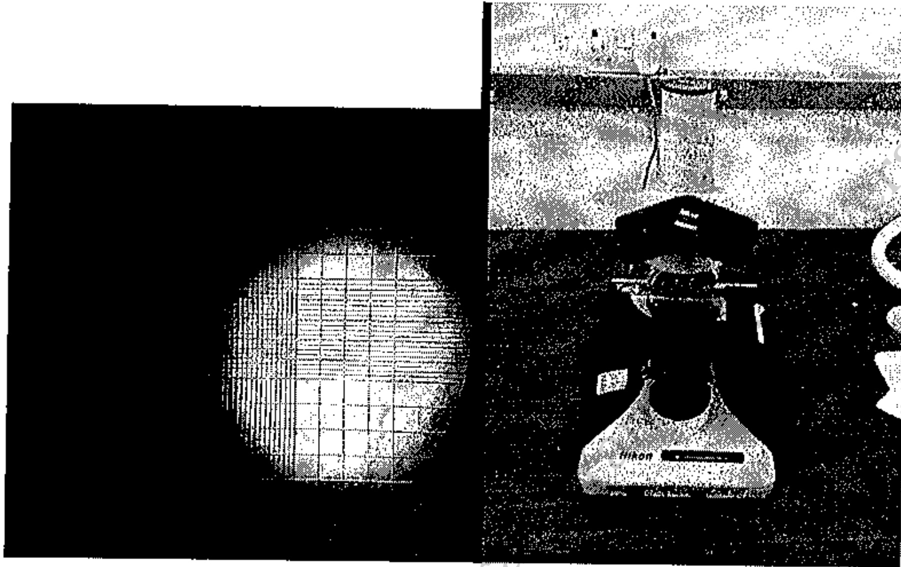


الشكل(3-11): صورة لكواشف مثبتة بنابض موضوعة في محلول هيدروكسيد الصوديوم الموجود في جهاز الحمام المائي.

3-6: دراسة مسارات جسيمات شظايا الانشطار على سطح الكاشف

استخدم المجهر الضوئي من نوع (Nicon) لعد مسارات الأثر النووي الموجودة على الكاشف بتكبير قدره 10X للعدسة العينية وتكبير 10X للعدسة الشيئية ويوضح الشكل (3-12) صورة المجهر، بحيث تم ذلك بوضع وجه قطعة الكاشف الأول الذي كان ملاصق للعينة على منطقة موجودة في شريحة التعداد المقسومة إلى منطقتين، بحيث كل منطقة منها مقسومة إلى تسعة مربعات (3 X 3) مساحة كل مربع 1 مليمتر مربع، وكل مربع مقسم أيضا إلى مربعات صغيرة وأخر إلى مستطيلات صغيرة و الشكل (3-13) يوضح تقريبا التقسيم داخل المنطقة، ومن أجل دقة العد تم رصد المسارات الموجودة في المربعات الصغيرة كل منها على حدا في كل صف ذو مساحة محددة داخل المربع وأيضا بنفس الطريقة تم رصد المستطيلات الصغيرة داخل المربع الأخر بحيث يكون مساحة كل الصفوف هي نفسها في جميع المربعات، ثم تجميع عدد المسارات داخل كل مربع ذو مساحة 1 مليمتر مربع، مع العلم أنه تم إهمال رصد المربع الذي يتوسط المربعات التسعة وذلك لكثرة التقسيمات داخله التي تعكس على عدم وضوح المسارات داخله. أما

بالنسبة لقطعة الكاشف الثانية التي كانت ملاصقة للعينة تم أجراء عليها نفس طريقة،وبعد ذلك تم حساب متوسط عدد المسارات الموجودة داخل مربع ذو مساحة 1 مليمتر مربع للوجهين معا.



الشكل (3-12): مجهر (Nicon) الشكل (3-13): التقسيم داخل منطقة رصد الحفر في الكاشف .

3-7: حساب عدد المسارات أو الحفر الناتجة من الانشطار النووي

أثناء معايرة فترة التشعيع تم تحضير عينات لها نفس موصفات العينات السابقة إلا أنها لم تشعع بالنيوترونات بحيث وضعت في المختبر بعيدا عن جهاز الامريسيوم- بريليوم للنيوترونات، وذلك لدراسة أثر باعثات على الكواشف وتأثيرها، وبعد تطهير الكواشف ودراسة المسارات كما ذكر سابقا وجد أثر لباعثات ألفا على الكواشف بعد عشرة أيام، لذا تم رصد جميع المسارات باختلاف شكلها وحجمها لكل من الكواشف المشععه وغير المشععه لكل عينة كما ذكر سابقا في دراسة المسارات، بحيث تم مضاعفة متوسط عدد المسارات الموجودة على الكواشف غير المشععه لتساوي في الفترة الزمنية مع الكواشف المشععه، ثم أخذ ناتج الفرق بين متوسط عدد المسارات للكواشف المشععه وغير المشععه لكل عينة، الذي يمثل عدد المسارات أو الحفر الناتجة من الانشطارات النووية في حساب تركيز يورانيوم 235 في العينة، والشكل(3-14) يبين صورة لمربع تعداد في رصد المسارات لأحد الكواشف المشععه.



والشكل(3-14): صورة لمربع تعداد في رصد المسارات لأحد الكواشف المشععه.

3-8: كيفية حساب تركيز اليورانيوم

في هذه الدراسة أن عدد المسارات و الحفر الموجودة على الكواشف لكل عينة نتيجة الانشطارات النووية تساوي عدد التفاعلات النووية الانشطارية في الثانية مضروب في فترة التشعيع لكل عينة أي أن:

$r_A\ t$ = عدد المسارات و الحفر

وبضرب العلاقة (2-9) في فترة التشعيع ينتج العلاقة التالية:

$$r_A\ t = (N_o\ \Delta x\ I\ \ \sigma) \times t \qquad (3\text{-}1)$$

ويمكن حساب عدد النوى في وحدة حجم الهدف N_o إذا كانت كثافته ρ ووزنه الذري M و عدد أفوكادرو Nav معرفة و لما كانت كتلة الذرة الواحدة تساوي النسبة $\frac{\rho}{N_o}$ أو النسبة $\frac{M}{N_{av}}$ والتي يمكن تمثيلها بالعلاقة التالية:

$$\frac{M}{N_{av}} = \frac{\rho}{N_o} \quad \rightarrow \quad N_o = \frac{\rho}{M} \times N_{av} \qquad (3\text{-}2)$$

و بتطبيق العلاقة (3-2) في العلاقة (3-1) ينتج:

$$r_A\ t = X_U = \frac{\rho_s}{M} \times (N_o\ \Delta x\ I\ \ \sigma_f) \times t \qquad (3\text{-}3)$$

حيث :

X_U: متوسط عدد المسارات الناتجة عن الانشطارات في كواشف كل عينة لكل مليمتر مربع

ρ_s : كثافة اليورانيوم في العينة

σ_f: المقطع العرضي للانشطار (580 barn)

M : وزن الذري لعنصر يورانيوم 235 ويساوي (235 g / mol)

N_{av}: عدد أفوكادرو (6.03×10^{23} atom / mol)

ومن العلاقة السابقة فأن كثافة اليورانيوم في العينة (g / cm^3) تكون:

$$\rho_s = \frac{M}{(I\ N_{av}\ \Delta x\ \sigma_f) \times t} \times X_U \times 100 \qquad (3\text{-}4)$$

وبعد ذلك نحسب كثافة العينة كاملة بحيث:

$$\rho_o = \frac{m_s}{V} = \frac{m_s}{(\pi R^2) \times \Delta x} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث:

m_s: كتلة العينة كاملة بوحدة الغرام

R: نصف قطر العينة ويساوي (0.75 cm)

ولحساب تركيز يورانيوم 235 في العينة نقسم كثافة يورانيوم 235 في العينة بوحدة (mg/cm^3) على كثافة العينة كاملة (kg/cm^3) لينتج تركيز يورانيوم 235 بوحدة ppm (part per million) كما في المعادلة التالية:

$$C_{235_U} = \frac{\rho_s}{\rho_o} = \frac{X_U}{m_s} \times \frac{(\pi R^2) \times M}{(I\ N_{av}\ \sigma_f) \times t} \times 10^5 \qquad (3\text{-}6)$$

وعند تطبيق القيم السابقة ينتج المعادلة:

$$C_{235_U} = \frac{X_U}{I \times m_s \times t} \times 0.13743 \times 10^4 \qquad (3\text{-}7)$$

حيث:

m_s: كتلة العينة كاملة بوحدة الغرام

I: شدة جهاز مصدر النيوترونات في هذه الدراسة يساوي ($5 \times 10^4\ n/(cm^2.s)$)

t: فترة التشعيع وتكون بالأيام

و لحساب تركيز باقي نظائر اليورانيوم (C_U) بوحدة ppm نستخدم العلاقة التالية:

$$C_U = C_{235_U} \times \frac{99.3}{0.7} \qquad (3\text{-}8)$$

حيث أن قيمة 0.7% تمثل نسبة يورانيوم 235 في الطبيعة و نسبة 99.3% تمثل نسبة باقي نظائر اليورانيوم وبتطبيق العلاقة (3-5) بالعلاقة (3-6) ينتج العلاقة التالية:

$$C_U = \frac{X_U}{I \times m_s \times t} \times 19.49541 \times 10^4 \qquad (3\text{-}9)$$

النتائج ومناقشتها Results and Discussion

4-1: مقدمة

بعد معالجة الكواشف كيميائيا على النحو المبين في الفصل الثالث، قمت بعد ذلك بعد المسارات لكل وحدة مساحة.

و باستخدام العلاقة (3-5) و العلاقة (3-7) تم حساب تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم في المناجم الثلاث بواسطة برنامج ++C (أنظر للملحق 3). ولقد أخذت العينات من مناطق مختلفة في الأردن كما يلي:

1- الحسا حوض رقم 2: بئر 10 و بئر 11.

2- الشيدية حوض رقم 3: بئر 82 و بئر 83.

3- الأبيض حوض رقم 36: بئر 131 و بئر 132.

4- مصنع فسفوجبسيم في العقبة.

و تبين الجداول من (4-1) إلى (4-6) النتائج العملية لتحليل هذه العينات. حيث تبين الجداول (4-1) و (4-2) نتائج تحليل عينات منجم الحسا و الجداول (4-3) و (4-4) نتائج تحليل عينات منجم الشيدية و الجداول (4-5) و (4-6) نتائج تحليل عينات منجم الأبيض.

وتحتوي جميع هذه الجداول متوسط تركيز نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم في العينات المأخوذة من ذلك المنجم.

الجدول (4-1): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 10 من حوض 2 بمنجم الحسا.

العمق (m)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	C_U (ppm)
2-0	0.05 ± 0.02	7.61 ± 3.23
10.5-10	0.60 ± 0.06	84.94 ± 8.52
11-10.5	0.62 ± 0.05	88.33 ± 7.49

الجدول (4-2): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 11 من حوض 2 بمنجم الحسا.

العمق (m)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	C_U (ppm)
1-0	0.11 ± 0.03	15.48 ± 4.19
1.5-1	0.14 ± 0.01	19.55 ± 0.50
2-1.5	0.12 ± 0.05	17.16 ± 7.77
12.5-12	0.46 ± 0.03	65.84 ± 3.62
13-12.5	0.86 ± 0.19	121.35 ± 27.50

الجدول (4-3): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 82 من حوض 3 بمنجم الشيدية.

العمق (m)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	C_U (ppm)
12-0	0.05 ± 0.01	6.61 ± 1.86
14.5-12	0.13 ± 0.04	17.82 ± 5.31
14.9-14.5	0.32 ± 0.01	45.71 ± 1.03
15.3-14.9	0.21 ± 0.09	24.25 ± 8.25
17.3-15.3	0.50 ± 0.07	71.08 ± 10.45
19-17.3	0.36 ± 0.01	51.67 ± 0.38
19.8-19	0.43 ± 0.05	61.56 ± 6.98
20-19.8	0.40 ± 0.01	57.29 ± 0.48
20.5-20	0.39 ± 0.06	50.87 ± 9.06

الجدول (4-4): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 83 من حوض 3 بمنجم الشيدية.

العمق (m)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	C_U (ppm)
11.5-0	0.05 ± 0.01	7.78 ± 0.90
15-11.5	0.15 ± 0.02	21.79 ± 3.27
15.4-15	0.32 ± 0.03	45.93 ± 4.50
16.2-15.4	0.23 ± 0.02	32.87 ± 2.20
16.7-16.2	0.46 ± 0.10	65.76 ± 13.94
18-16.7	0.26 ± 0.10	36.19 ± 13.93
18.75-18	0.49 ± 0.03	70.04 ± 4.40
19-18.75	0.44 ± 0.38	62.53 ± 0.38
19.5-19	0.40 ± 0.03	56.34 ± 4.37

الجدول (4-5): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 131 من حوض 36 بمنجم الأبيض.

C_U (ppm)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	العمق (m)
5.78 ± 1.26	0.04 ± 0.01	2-0
60.30 ± 8.79	0.43 ± 0.06	27-26.5
68.26 ± 6.90	0.48 ± 0.05	27.5-27
66.14 ± 10.79	0.47 ± 0.08	28-27.5

الجدول (4-6): تغير تركيز كل من نظير اليورانيوم 235 و باقي نظائر اليورانيوم مع العمق في بئر 132 من حوض 36 بمنجم الأبيض.

C_U (ppm)	$C_{^{235}U}$ (ppm)	العمق (m)
6.65 ± 2.06	0.05 ± 0.01	2-0
104.67 ± 14.77	0.74 ± 0.10	32-31.5
72.72 ± 5.54	0.51 ± 0.04	32.5-32
66.14 ± 10.79	0.47 ± 0.08	28-27.5

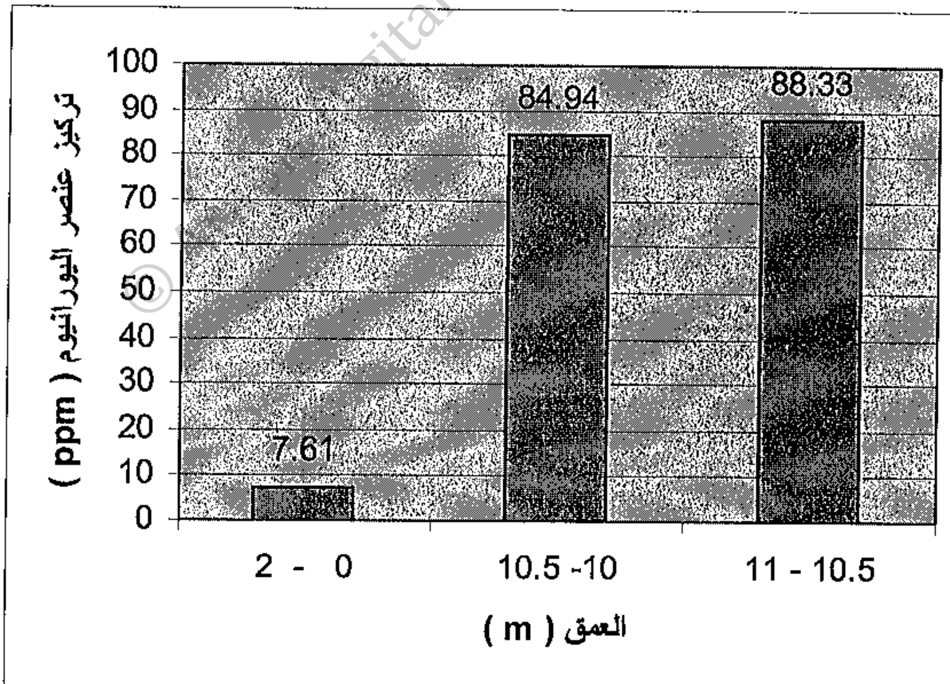
2-4: تركيز اليورانيوم

1-2-4: منجم الحسا

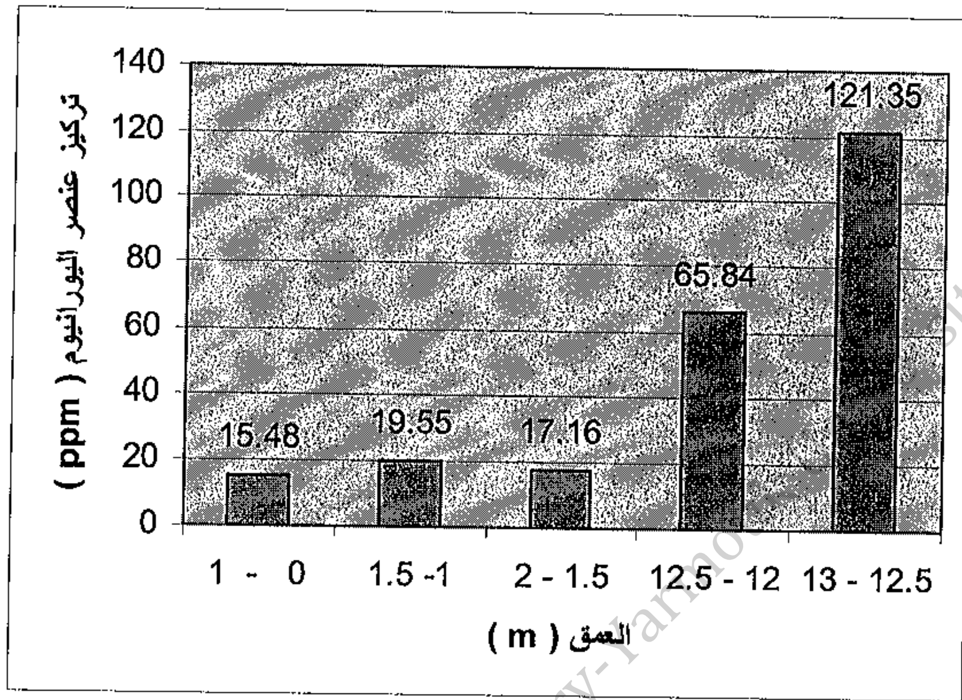
لقد لوحظ عند إيجاد تركيز اليورانيوم في بئر 10 من حوض 2 بمنجم الحسا أن أعلى تركيز هو (88.33 ppm) وقد وجد في طبقة الفوسفات الناعم و التي تمتد على عمق (11-10.5 m) بينما أقل تركيز هو (7.61 ppm) وقد كان على عمق (2-0 m) في طبقة الردم و بإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم، يكون متوسط التركيز لعنصر اليورانيوم في هذا البئر (86.64 ppm).

وفي المقابل وجد أن أعلى تركيز لليورانيوم في بئر 11 من هذا المنجم كان على عمق (13-12.5 m) هو (121.35 ppm) حيث يمثل هذا العمق طبقة الفوسفات الناعم بينما أقل تركيز هو (15.48 ppm) وجد على عمق (1-0 m) و بإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم فان متوسط التركيز هو (93.60 ppm).

وتتفق هذه النتائج مع الدراسات السابقة فعند مقارنتها بنتائج خليل (2006) على سبيل المثال نجد أن أعلى تركيز قد بلغ لديها (145 ppm) و أقل تركيز (16.1 ppm) مع الأخذ بعين الاعتبار اختلاف الآبار من هذا المنجم.



الشكل (4-1): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 10 من حوض 2 بمنجم الحسا.

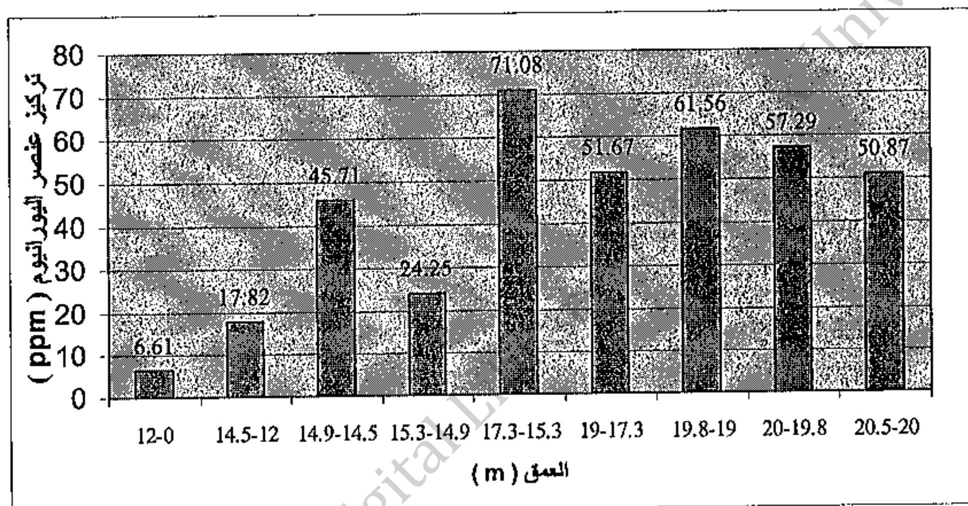


الشكل (4-2): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 11 من حوض 2 بمنجم الحسا.

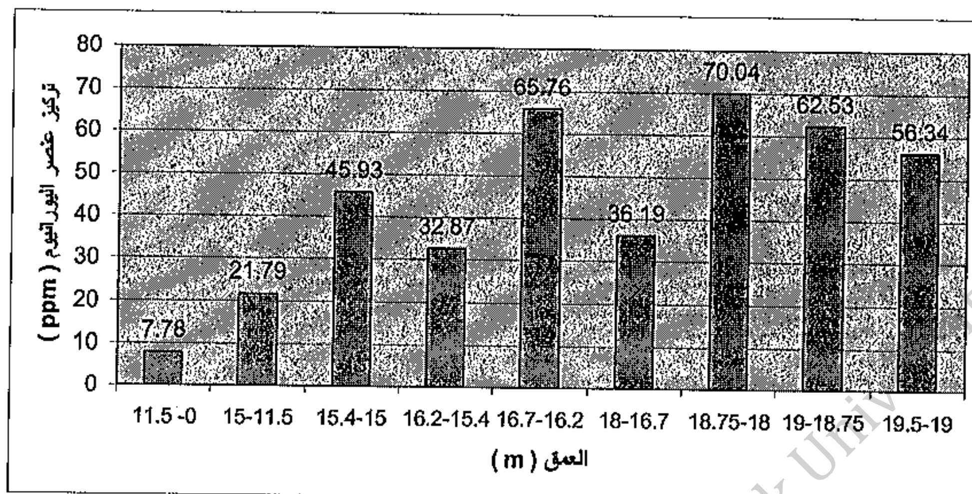
4-2-2: منجم الشيدية

يلاحظ من الشكل (4-3) أن أعلى تركيز لليورانيوم (71.08ppm) موجود في بئر 82 من حوض 3 على عمق (17.3-15.3 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الفوسفات الناعم بينما كان أقل تركيز (6.61ppm) وقد وجد على عمق (12-0 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الردم و بإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم ليكون متوسط تركيز اليورانيوم (47.53ppm). في حين يتضح من الشكل (4-4) أن أعلى (70.04ppm) تركيز في بئر 83 من حوض 3 على عمق(18.75-18 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الفوسفات الناعم و أقل تركيز(7.78 ppm) وقد وجد على عمق (11.5-0 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الردم و بإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم فأن متوسط تركيز اليورانيوم (48.93ppm). من الملاحظ أن النتائج التي تم التوصل إليها حول تركيز اليورانيوم في هذا المنجم تتفق و الدراسات السابقة حيث أظهرت النتائج التي بين أيدينا و بالمقارنة مع الدراسات السابقة أن معدل التركيز يتراوح بين(45-38.5 ppm). وفي دراسة أجريت للباحثة الأحمد (Al-Ahmad, 2003) أظهرت أن معدل تركيز اليورانيوم

في منجم الشيدية (45ppm)، فمن الملاحظ أنه يوجد تباين طفيف بين التراكيز مع مراعاة نسبة الخطأ بمقدار (3.34 ppm). كما ويلاحظ أن تركيز اليورانيوم يزداد في طبقة الفوسفات الناعم إلا أن تركيزه ينخفض في طبقة الفوسفات القاسي و الذي يحتوي على الرمل و الصوان وبمعدل 10 ppm و 20 ppm.



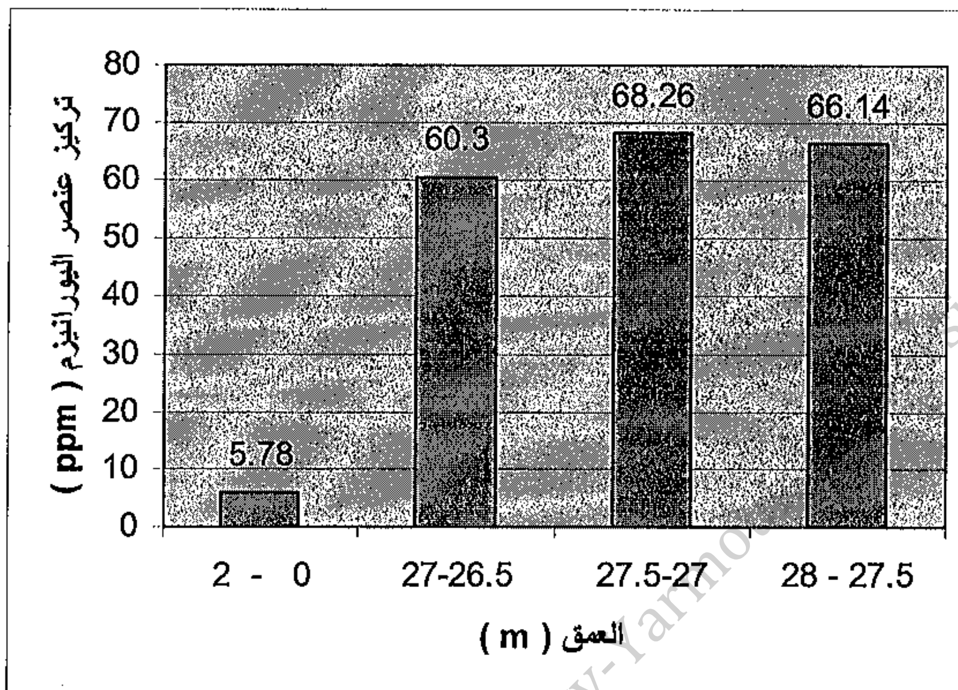
الشكل (4-3): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 82 من حوض 3 بمنجم الشيدية.



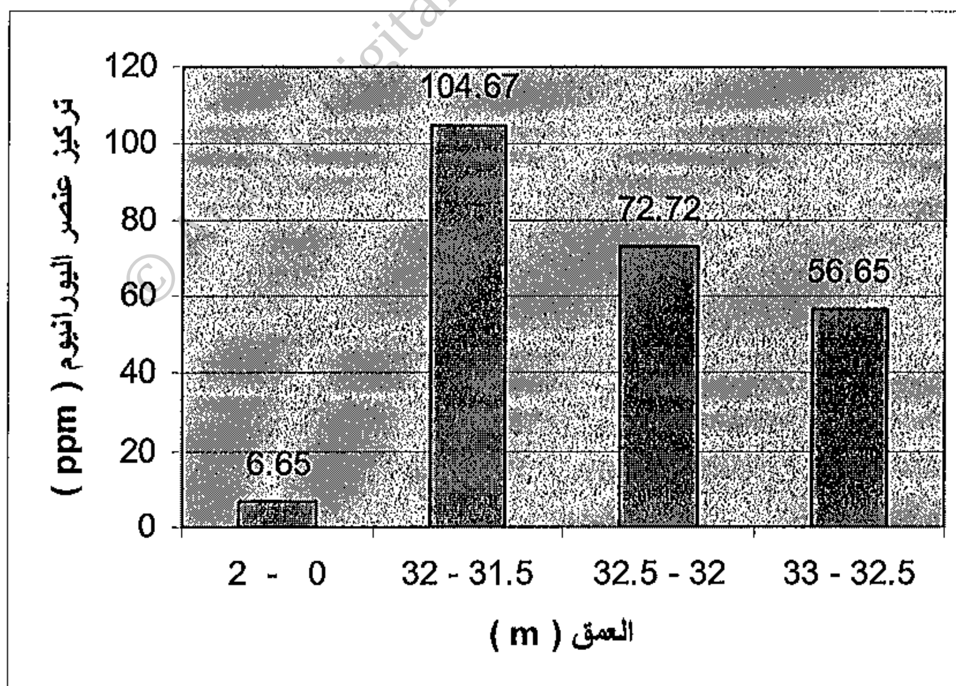
الشكل (4-4): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 83 من حوض 3 بمنجم الشيدية.

4-2-3: منجم الأبيض

يتضح من الشكل (4-5) أن أعلى تركيز لليورانيوم (68.26ppm) في بئر 131من حوض 36 و كان على عمق (27.5-27 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الفوسفات الناعم ممزوجة مع الحور (marl) بينما كان أقل تركيز (5.78ppm) على عمق (2-0 m) وبإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم فأن متوسط تركيز اليورانيوم (64.9ppm). في حين يبين الشكل(4-6) أن أعلى (104.67ppm) تركيز في بئر 132 من حوض 36 على عمق (18.75-18 m) حيث يمثل هذا العمق طبقة الفوسفات الناعم ممزوجة مع الحور (marl) و أقل تركيز (6.65ppm) وقد وجد على عمق (2-0 m) وبإهمال تركيز اليورانيوم في طبقة الردم فأن متوسط تركيز اليورانيوم (78.01ppm).



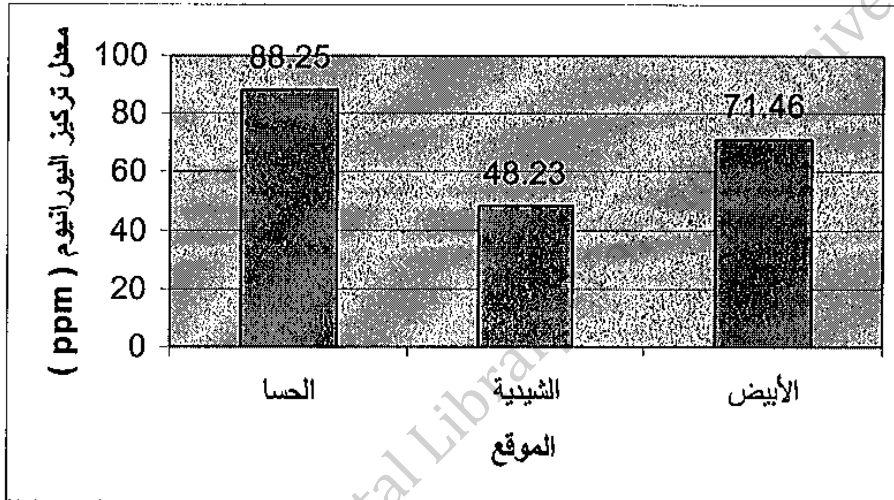
الشكل (4-5): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 131 من حوض 36 بمنجم الأبيض.



الشكل (4-6): العلاقة بين عمق العينة و تركيز اليورانيوم في بئر 132 من حوض 36 بمنجم الأبيض.

4-2-4: عينة فسفوجبسيم

لقد تم إحضار العينة في شهر آب سنة 2008 و كان تركيز اليورانيوم 235 (0.19±0.02ppm) وتركيز باقي نظائر اليورانيوم (26.83±2.51ppm). ويعزى هذا التركيز لوجود كمية من الفوسفات لذا تتواجد بلورات معدن الأباتيت و الذي تحل فيها أيونات اليورانيوم مكان أيونات الكالسيوم.



الشكل (4-7): معدل تركيز اليورانيوم في مناجم الفوسفات الأردنية الفعالة.

يلاحظ من الشكل (4-7) أن اليورانيوم يزداد من منجم الشيدية إلى الأبيض فالحسا.
أما بالنسبة للحفر التي كانت على الكواشف داخل المصدر فتم ملاحظة أن شكل الحفر في المعظم كانت على شكل كروي يوجد بداخله لمعه باختلاف الأحجام، هذا تبعا للطاقة التي تملكها والأثر الذي تركته و يوجد أيضا حفر على شكل أهليجي و ينتج هذا الشكل بسبب سقوط الشظية بزاوية مع سطح الكاشف وهذا يتفق مع دراسة تشرح ذلك في مؤتمر لاجتماع الفيزيائيين الأمريكان (Low Energy Nuclear Reactions (LENR), 2007).ولقد لوحظ نقصان عدد الحفر على الكاشف الموجود في الجهة الأخرى من المصدر بالنسبة للكاشف المقابل ويعتبر ذلك كنسبة خطأ بسبب تناقص قليل في فيض النيوترونات، بحيث يعتمد هذا التناقص على سمك العينة (Littlefield &Thorley,1968) وفي هذه الدراسة كان سمك العينات صغير لذا فأن ذلك لا يؤثر كثيرا. أما بالنسبة لفترة التشعيع 20 يوم التي تمت معايرتها تبعا لشدة فيض المصدر الذي يعتبر ضعيف نسبيا لذا يجب التنويه عند تغير المصدر يجب معايرة فترة التشعيع و على الرغم

من منطقية بالنسبة لهذا المصدر فأننا نعتبر طول فترة التشعيع بالنسبة لمصادر ذات شدة فيض أكبر بأنها كنسبة خطأ في هذه الدراسة.

3-4: مقارنة تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني مع غيرها من الدول.

بمقارنة تركيز اليورانيوم في الأردن بتركيزه بدول أخرى من العالم نجد أنه ضمن المستوى الطبيعي فعلى سبيل المثال فإن تركيز اليورانيوم في السودان (211ppm) في منجم أورو (Sam&Holm,1995) في حين أن تركيزه في مصر (173ppm) (Saad et al., 2003) في منطقة وادي النيل.

واستكمالا لذلك عند إجراء مقارنة بين محتوى الفوسفات الأردني من اليورانيوم مع غيره في مناطق مختلفة من العالم نلاحظ ما يلي و كما يتبين لنا من الجدول(4-7):

الجدول(4-7): معدل تركيز اليورانيوم بوحدة (ppm) من مناطق مختلفة من العالم.

Country	U (natural)	Ref.
Morocco	138.02	Guimond,1990
USSR	11.36	
USA (Florida)	121.79	
USA (Western)	81.19	
Jordan (Al-Hassa)	88.25	This study
Jordan (Eshshidiya)	47.23	
Jordan (Al-Abiad)	71.46	
Sudan (Uro)	210.94	Sam&Holm,1995
Sudan (Kurun)	55.59	
Tanzania	376.82	Makweba and Holm, 1993
Egypt	173	Saad et al., 2003

كما ويلاحظ أن تركيز اليورانيوم في الفوسفات الأردني متوسط مقارنة بغيره من دول العالم، حيث وكما يتضح من الجدول أن دولة تنزانيا تحظى بأعلى تركيز يليها السودان، كما يتضح لدينا أيضا أن هنالك تقاربا في تركيز اليورانيوم في كل من الأردن و المغرب و مصر و الولايات المتحدة الأمريكية.

الفصل الخامس

الإستنتاجات و التوصيات Conclusion and Recommendations

نستنتج من هذه الدراسة ما يلي:

1 ثبات مدى نجاعة تقنية الإنشطار النووي، على الرغم من طول فترة التشعيع نسبيا بسبب ضعف فيض مصدر النيوترونات، كما تعد بأنها طريقة سهلة وبسيطة

2 تمتاز تقنية استخدام كواشف الأثر النووي (CR-39) المكملة لتقنية الإنشطار النووي بأنها من الطرق السهلة و البسيطة وغير مكلفة للتعرف على تركيز يورانيوم 235 في مواد مختلفة. و في نفس الوقت فالنتائج التي تم الحصول عليها تتوافق و الدراسات السابقة التي استخدمت طرقا في رأي أكثر كلفة.

3 إمكانية الاستغناء عن عينات معيارية، تم إستخدامها في دراسات أخرى لقياس تركيز يورانيوم 235.

4 يزداد تركيز اليورانيوم من الشيدية فالأبيض فالحسا.

5 أعلى تركيز لعنصر اليورانيوم في منجم الحسا بينما يسجل في منجم الشيدية أقل تركيز بالنسبة لعنصر اليورانيوم.

6 محتوى اليورانيوم في الفوسفات الأردني يختلف باختلاف المنجم و نوعية الفوسفات.

7 محتوى اليورانيوم في الفوسفات الأردني ذو نسبة متوسطة مقارنة بغيره من فوسفات العالم و يتراوح معدل تركيزه بين (93.60-47.53 ppm).

التوصيات:

لقد تبين لنا من خلال هذه الدراسة و التي تعتبر مكملة لغيرها من الدراسات جملة من التوصيات نوجزها فيما يلي:

1 إن الزيادة الملحوظة على إقبال الدول لإستغلال مصادر الطاقة المتجددة بما فيها الطاقة النووية و باعتبار نسبة عنصر اليورانيوم عالية نسبيا في الفوسفات الأردني يدل هذا على أهميتها و يؤكد الحاجة الماسة لإستغلال ذلك لإنتاج الطاقة النووية، ومن هنا تأتي الحاجة الماسة إلى المزيد من الدراسات الشاملة لإستكشاف مناطق تواجد الفوسفات في مختلف مناطق المملكة.

2 تقدم هذه الدراسة إلى هيئة الطاقة النووية الأردنية لعمل دراسات وتحسينات على هذه الدراسة لدراسة تركيز اليورانيوم في مواد مختلفة في الأردن، كما تقدم للمهتمين بدراسة تركيز اليورانيوم في مناطق موجودة في الأردن وهذا بدوره يحدد طبيعة و نوع المشاريع التي يمكن استغلالها.

3 تعتبر هذه الدراسة فاتحة لدراسات أخرى لمعرفة تركيز عنصر اليورانيوم و خصائصه عن طريق تقنية الإنشطار النووي.

4 نوصي بعمل دراسة باستخدام مصدر نيوترونات ذو فيض عالياً وباستخدام عينات معيارية و مقارنة نتائجها بنتائج الدراسة وتعميم هذه الطريقة.

الملحق (1): برنامج عام لحساب كثافته لأي عنصر إنشطاري مثل اليورانيوم بتطبيق نفس الطريقة المتبعة في الدراسة بتماثل فترة التعريض لجميع الكواشف خارج مصدر النيوترونات وداخله.

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
using std::cout;
using std::cin;
using std::endl;
using std::fixed;

#include <iomanip>       // parameterized stream manipulators

using std::setprecision;  // sets numeric output precision

// function main begins program execution
int main()
{       float I;
        float x;
        float t;
        float y;
        float R;
        float F;
        float M;
        float z;
        float s;
        float k;
        float c;
        float m;
```

```
{

{
float T;        // sum of holes of detcotor inside
float G;  // number of sum of holes of detcotor inside entered
float g;        // holes of detcotor inside value

float k;   // number with decimal point for average

// initialization phase
T = 0;        // initialize total
G = 0;  // initialize loop counter

// processing phase
// get first holes of detcotor inside from user
cout << " for the finsh enter data, enter  -1 to end "<< endl;
cout << "Enter data of detcotor inside is : ";  // prompt for input
cin >> g;                       // read holes of detcotor inside from user

// loop until sentinel value read from user
while ( g != -1 ) {
  T = T + g;          // add houl to total
  G = G + 1;  // increment counter

  cout << "Enter data of detcotor inside is : ";  // prompt for input
  cin >> g;                       // read next hole of detcotor inside

} // end while

// termination phase
// if user entered at least one hole of detcotor inside ...
if ( G != 0 ) {

  // calculate average of all holes of detcotor inside entered
```

```
  k = static_cast< double >( T ) / G;

  // display average with two digits of precision
  cout << "hols average  of detcotor inside is " << setprecision( 2 )
      << fixed << k << endl;

} // end if part of if/else

else // if no holes of detcotor inside were entered, output appropriate message
  cout << "No holes were entered" << endl;




{
float H;        // sum of holes of detcotor out
float N;  // number of holes of detcotor out entered
float n;        // hole of detcotor out value

float s;   // number with decimal point for average

// initialization phase
H = 0;        // initialize total
N = 0;  // initialize loop counter

// processing phase
// get first hole of detcotor out from user
cout << "Enter data of detcotor out is ";  // prompt for input
cin >> n;                    // read hole of detcotor out from user

// loop until sentinel value read from user
while ( n != -1 ) {
  H = H + n;          // add holes of detcotor out to total
  N = N + 1;  // increment counter
```

```
    cout << "Enter data of detcotor out is: ";  // prompt for input
    cin >> n;                    // read next holes of detcotor out

  } // end while

  // termination phase
  // if user entered at least one hole of detcotor out ...
  if ( N != 0 ) {

    // calculate average of all holes of detcotor out entered
    s = static_cast< double >( H ) / N;

    // display average with two digits of precision
    cout << "hols average of detcotor out is  " << setprecision( 2 )
        << fixed << s << endl;

  } // end if part of if/else

  else // if no holes of detcotor out were entered, output appropriate message
    cout << "No holes of detcotor out were entered" << endl;

z= k-s ;
       cout << "holes average on the detcotor for fission  is  " << z << endl;

  }

  {

 cout << " enter value of the flux for unit x 10^4(n/cm2.sec ) is "<< endl ;
        cin >> I;
```

```
          cout << " enter value of the atomic mass for element  of the sample for unit( u )
 is " << endl;
   cin >> m;

   cout << " enter value of the cross section for element  of the sample for unit( barn ) is
" << endl;
   cin >> c;

  cout << " enter value of the thickness of the sample for unit( cm ) is "<< endl;
   cin >> x;

   cout << " enter value of the time irradiation of the sample for unit( day ) is " << endl;
   cin >> t;

   R= 1/(I*x*t*c)*z*m*19.19415416;
  cout << " enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-7( mgm/cm3
) is "<< R << endl;

  cout << " enter value of the mass of the sample for unit (gm ) is "<< endl ;
          cin >> M;

   F= 22*0.5625*x*R/(7*M);

          cout << "enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-2(ppm
) is "<< F << endl;

          y= F*99.3/0.7;
           cout << "enter value of the density for U in the sample for unit x 10^-2(ppm )
is "<< y << endl;
  }
}
return 0;   // indicate program ended successfully
        }
};
```

الملحق (2): برنامج لحساب كثافة عنصر يورانيوم 235 و عنصر اليورانيوم 238 بتطبيق نفس الطريقة المتبعة في الدراسة بتماثل فترة التعريض لجميع الكواشف خارج مصدر النيوترونات وداخله.

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
using std::cout;
using std::cin;
using std::endl;
using std::fixed;

#include <iomanip>       // parameterized stream manipulators

using std::setprecision;  // sets numeric output precision

// function main begins program execution
int main()
{    float I;
   float x;
        float t;
        float y;
        float R;
        float F;
        float M;
        float z;
        float s;
        float k;

        {

        {
 float T;        // sum of holes of detcotor inside
 float G;  // number of holes of detcotor inside entered
 float g;        // hole of detcotor inside value

 float k;   // number with decimal point for average

 // initialization phase
 T = 0;        // initialize total
 G = 0;  // initialize loop counter

 // processing phase
 // get first hole of detcotor inside from user
 cout << " for the finsh enter data, enter  -1 to end "<< endl;
 cout << "Enter data of detcotor inside is : ";  // prompt for input
 cin >> g;                       // read hole of detcotor inside from user
```

```
// loop until sentinel value read from user
while ( g != -1 ) {
   T = T + g;          // add hole of detcotor inside to total
   G = G + 1;  // increment counter

   cout << "Enter data of detcotor inside is : ";  // prompt for input
   cin >> g;                    // read next hole of detcotor inside

} // end while

// termination phase
// if user entered at least one hole of detcotor inside ...
if ( G != 0 ) {

   // calculate average of all holes of detcotor inside entered
   k = static_cast< double >( T ) / G;

   // display average with two digits of precision
   cout << "hols average  of detcotor inside is " << setprecision( 2 )
       << fixed << k << endl;

} // end if part of if/else

else // if no holes of detcotor inside were entered, output appropriate message
   cout << "No holes of detcotor inside were entered" << endl;



{
float H;        // sum of holes of detcotor out
float N;  // number of holes of detcotor out entered
float n;        // hole of detcotor out value

float s;   // number with decimal point for average

// initialization phase
H = 0;        // initialize total
N = 0;  // initialize loop counter

// processing phase
// get first hole of detcotor out from user
cout << "Enter data of detcotor out is ";  // prompt for input
cin >> n;                    // read hole of detcotor out from user

// loop until sentinel value read from user
while ( n != -1 ) {
  H = H + n;          // add hole of detcotor out to total
  N = N + 1;  // increment counter

  cout << "Enter data of detcotor out is: ";  // prompt for input
```

```
cin >> n;                   // read next hole of detcotor out

} // end while

// termination phase
// if user entered at least one hole of detcotor out ...
if ( N != 0 ) {

  // calculate average of all hole of detcotor out entered
  s = static_cast< double >( H ) / N;

  // display average with two digits of precision
  cout << "hols average of detcotor out is  " << setprecision( 2 )
     << fixed << s << endl;

} // end if part of if/else

else // if no holes of detcotor out were entered, output appropriate message
  cout << "No grades were entered" << endl;

z= k-s;
      cout << "hols average on the detcotor for fission  is  " << z << endl;

}

{



cout << " enter value of the flux for unit x 10^4(n/cm2.sec ) is "<< endl ;
         cin >> I;

cout << " enter value of the thickness of the sample for unit( cm ) is "<< endl;
 cin >> x;

 cout << " enter value of the time irradiation of the sample for unit( day ) is " << endl;
 cin >> t;



 R= 1/(I*x*t)*z*7.776941177;
cout << " enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-7( mgm/cm3
) is "<< R << endl;

cout << " enter value of the mass of the sample for unit (gm ) is "<< endl ;
         cin >> M;

 F= 22*0.5625*x*R/(7*M);
```

```
            cout << "enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-
2(ppm ) is "<< F << endl;

            y= F*99.3/0.7;
             cout << "enter value of the density for U in the sample for unit x 10^-2(ppm )
is "<< y << endl;
   }
}
return 0;   // indicate program ended successfully
          }
};
```

الملحق (3): برنامج لحساب كثافة عنصر يورانيوم 235 و عنصر اليورانيوم 238 بتطبيق نفس المتبعة في الدراسة.

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
using std::cout;
using std::cin;
using std::endl;
using std::fixed;

#include <iomanip>       // parameterized stream manipulators

using std::setprecision;  // sets numeric output precision

// function main begins program execution
int main()
{   float I;
   float x;
        float t;
   float y;
        float R;
        float F;
        float M;
        float z;
        float s;
        float k;

        {

        {
  float T;        // sum of holes of detcotor inside
  float G;  // number of holes of detcotor inside entered
  float g;        // hole of detcotor inside value

  float k;   // number with decimal point for average

  // initialization phase
  T = 0;       // initialize total
  G = 0;  // initialize loop counter

  // processing phase
  // get first hole from user
  cout << " for the finsh enter data, enter  -1 to end "<< endl;
  cout << "Enter data of detcotor inside is : ";  // prompt for input
```

```
cin >> g;                    // read hole of detcotor inside from user

// loop until sentinel value read from user
while ( g != -1 ) {
   T = T + g;          // add hole of detcotor inside to total
   G = G + 1;  // increment counter

   cout << "Enter data of detcotor inside is : "; // prompt for input
   cin >> g;                    // read next hole

} // end while

// termination phase
// if user entered at least one grade hole of detcotor inside ...
if ( G != 0 ) {

   // calculate average of all holes of detcotor inside entered
   k = static_cast< double >( T ) / G;

   // display average with two digits of precision
   cout << "hols average  of detcotor inside is " << setprecision( 2 )
      << fixed << k << endl;

} // end if part of if/else

else // if no holes of detcotor inside were entered, output appropriate message
   cout << "No grades were entered" << endl;



{
float H;        // sum of holes of detcotor out
float N;  // number of grades entered
float n;      // hole of detcotor out value

float s;   // number with decimal point for average

// initialization phase
H = 0;        // initialize total
N = 0;  // initialize loop counter

// processing phase
// get first holes of detcotor out from user
cout << "Enter data of detcotor out is "; // prompt for input
cin >> n;                    // read hole of detcotor out from user

// loop until sentinel value read from user
while ( n != -1 ) {
  H = H + n;          // add  hole of detcotor out to total
  N = N + 1;  // increment counter
```

```
    cout << "Enter data of detcotor out is: ";  // prompt for input
    cin >> n;                      // read next  hole of detcotor out

  } // end while

  // termination phase
  // if user entered at least one hole of detcotor out ...
  if ( N != 0 ) {

    // calculate average of all holes of detcotor out entered
    s = static_cast< double >( H ) / N;

    // display average with two digits of precision
    cout << "hols average of detcotor out is  " << setprecision( 2 )
       << fixed << s << endl;

  } // end if part of if/else

  else // if no holes of detcotor out were entered, output appropriate message
    cout << "No grades were entered" << endl;

 z= k-2*s;
        cout << "hols average on the detcotor for fission  is  " << z << endl;

  }

  {



 cout << " enter value of the flux for unit x 10^4(n/cm2.sec ) is "<< endl ;
          cin >> I;

 cout << " enter value of the thickness of the sample for unit( cm ) is "<< endl;
  cin >> x;

  cout << " enter value of the time irradiation of the sample for unit( day ) is " << endl;
  cin >> t;



  R= 1/(I*x*t)*z*7.776941177;
 cout << " enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-7( mgm/cm3
) is "<< R << endl;

 cout << " enter value of the mass of the sample for unit (gm ) is "<< endl ;
          cin >> M;

  F= 22*0.5625*x*R/(7*M);
```

```
            cout << "enter value of the density for U235 in the sample for unit x 10^-
2(ppm ) is "<< F << endl;

            y= F*99.3/0.7;
             cout << "enter value of the density for U in the sample for unit x 10^-2(ppm )
is "<< y << endl;
   }
}
return 0;   // indicate program ended successfully
          }
};
```

المراجع المستخدمة

الغرايبة، محمد فريد. 1998م. دراسة تحليلية لتركيز العناصر الثقيلة في الفوسفات الأردني باستخدام تقنية الأشعة السينية. رسالة ماجستير، جامعة اليرموك، اربد، الأردن.

شركة مناجم الفوسفات الأردنية المساهمة المحدودة. 2006م. الفوسفات و اليورانيوم، الأردن، (تقرير غير منشور).

خليل، علا عبد الجبار. 2006م. الفوسفات الأردني: محتواه من اليورانيوم ^{238}U و الثوريوم ^{232}Th باستخدام كواشف الأثر النووي. رسالة ماجستير، جامعة اليرموك، اربد، الأردن.

فاضل، علي سالم محمد. 2006. الفوسفات الصحراوي في مرمى الشركات العالمية. من الموقع http://www.saadasahara.com./phosphate.htm على شبكة الإنترنت.

عابد، عبد القادر. 2000. جيولوجية الأردن وبيئته ومياهه. نقابة الجيولوجيين الأردنيين. عمان، الأردن.

Ahmad, N. 2002. Natural Radioactivity Measurements in The Jordanian Phosphate Mines. Unpublished Master Thesis, Hashemite University, AL-Zarqa, Jordan.

Al-Jundi, J. 2002. Population Dose from Terrestrial Gamma Exposure in Area Near to Old Phosphate Mine, Russaifa, Jordan. J. Radiation Measurements, Vo.35, pp. 23–28.

Bazohair, A. O, Bin Jaza, A. A and AL-Shamy, A. A. 2006. Determination of the Concentration of Uranium in Yemeni Surface Soil Samples of Some Hadhramout's Valleys Using Track Detector (CR-39). Dirasat, Pure Sciences, Vo.33, No. 2.

Bondar, Yu. V. and Perelygin. V. P. 2005. Fission-Track Analysis of Meteorites: Dating of the Marjalahti Pallasite. Radiation Measurements, Vo.40, pp. 522 – 527.

Dienes, G. J. and Vineyard, G. H. 1957. Effect in Solids, Interscince, New York.

Durrani, S. A. and Bull, R. K. 1987. Solid State Nuclear Track Detector, Principles, Methods and Application, First Edition.

Durrani, S. A. and Ilic. 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors. World Scientific Singapore.

Fleishcher, R. L., Price, P. B. and Walker, R. M. 1975. Nuclear Track in Solid-Principles and Application, University of California, Press, Berkeley.

Guimond, R. J. 1990. Radium in Fertilizers. Technical Reports No. 310, International Atomic Energy Agency (IAEA), Environmental behavior of radium, pp. 133-128

Hussein, E. M. 1994. Radioactivity of Phosphate Ore, Super Phosphate and Phosphogypsum in Abu-Zaabal Phosphate Plant, Egypt. Health Physic, Vo.67, pp. 280-283.

International Atomic Energy Agency (IAEA), 1974. Handbook on Nuclear Activation Cross- Section. Vienna, Austria. Technical Reports No.156.

International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002. Arms Control Security Glossary. Retrieved June, 13, 2002, from the World Wide Web: http://dtirp.dtra.mil/Products/products/941p.htm.

Japan Atomic Energy Research Institute, 1996. Preparation of Track Pores. Retrieved Feb, 18, 1996 from the World Wide Web: http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/tayu/ACT96E/03/0304.htm.

Kalsi, P.C., Ramaswami A. and Manchanda, V. K. 2005. Solid State Nuclear Track Detectors and Their Applications. from the World Wide Web: http://www.barc.ernet.in/web pages/letter/2005 06-2.pdf.

Kaplan, I.1962. Nuclear Physics, 2nd edition. Addison-Wesley Publishing Company, California. USA.

Krane, K. S .1988. Introductory Nuclear Physics, 2nd edition. John Wiley& Sons Inc. England.

Lee, C. G., Iguchi, K. Esaka, F., Magara, M., Sakurai, S., Watanabe, K. and Usuda, S. 2006. Influence of Uranium Enrichment on the Etching Rate of Polycarbonate Fission Track Detector Containing Uranium Particles. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vo.245, pp. 440–444.

Littlefield, T. A. and Thorley, N. 1968. Atomic and Nuclear Physics. 2nd Edition Van Nostrand Reinhold Company, London, England.

Low Energy Nuclear Reactions (LENR), 2007. Analysis and Perspectives. Retrieved March, 21, 2007 from the World Wide Web: http://www.newenergvtimes.com/news/2007/NET21.htm

Makweba, M. M. and Holm, E. 1993. The Natural Radioactivity of The Rock Phosphate, Phosphatic Products and Their Environmental Implications. The Science of the Total Environment, Vo.133, pp. 99-110.

Meyerhof, W. E. 1967. Elements of Nuclear Physics. First Edition McGraw- Hill, Inc, New York, USA.

Moharram, B.M., Lamaze, G., Elfiki, M. and Khalil, N. 2002. Neutron-Based Analysis of Fission Rates and Ultra-Trace Concentrations of ^{235}U Using Gamma Spectrometry and CR-39 (Plastic Track Detector). Radiation Measurements, Vo.35, pp. 113–117.

Nachab, A., Nourreddine, A., Benjelloun, M., Kihel, S., Oster, D. And Pape, A. 2004. Uranium Analysis of Sediments by γ – Ray Spectrometry with Corrections for Self-Absorption. Of Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vo.215, pp. 228–234.

Peeples, C. R. 2007. Alternatives to the Americium-Beryllium Neutron Source for the Compensated Neutron Porosity Log. Unpublished Master Thesis, North Carolina State.

Rusk, R. D. 1964. Introduction to Atomic and Nuclear Physics. 2nd Edition Meredith Publishing Company, New York, USA.

Saad, A. F., Talaat, T. M., Atwa, S. T., Espinosa, G. and Fujii, M . 2003. Determination of the Uranium Content of Egyptian Phosphate Ores by Passive and Active Detectors. Radiation Measurements, Vo.36, pp. 561– 565.

Sam, A. K. and Holm, E. 1995. The Natural Radioactivity in Phosphate Deposits from Sudan. The Science of The Total Environment, Vo.16, pp. 173-178.

Thompson, M. N. and Rassool, R. P. 2001. Application of Neutron-Capture to Elemental Analysis, University of Melbourne, Parkville Vic, Australia.

World Nuclear Association, 2007. Some Physics of Uranium. Retrieved June, 12, 2007 from the World Wide Web: http://www.world-nuclear.org/education/graphics/crosssection.gif.

Yamazaki, I. M. and Geraldo, L. P. 2003. Uranium Content in Phosphate Fertilizers Commercially Produced in Brazil. Applied Radiation and Isotopes, Vo. 59, pp. 133–136.

Yoshioka, T., Tsuruta, T., Iwano, H. and Danhara, T. 2005. Spontaneous Fission Decay Constant of ^{238}U Determined by SSNTD Method Using CR-39 and DAP Plates. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vo. 555, pp. 386–395.

Abstract

Saleh Al-Ibwaini, Yamen Ali. Measurement of Uranium elements in Jordanian phosphate by using nuclear fission technique and plastic track detectors. Master thesis at Yarmouk University,2009
(Supervisor Dr. Mahmoud Kullab)

Jordanian phosphate samples taken from Al-Hassa, Al-Abiad and Eshshidiya mines besides phospho gypsum sample were studied to investigate its content of uranium 235 and uranium using solid state nuclear track detectors CR-39 and fission technique. Samples were irradiated by using neutron source with a flux of $5x10^4$ $n/s.cm^2$, for 20 days. On the other hand, some identical samples were kept outside the neutron source, for 10 days.

By the end of each period, the detectors were removed and treated chemically by sodium hydroxide NaOH with molar concentration 6.25M, and at a temperature of 70^oC for 8 hours. An optical microscope was used to count the number of fission fragments tracks on detector CR-39, and then the required calculations were done.

This study showed that the average concentration of uranium in Al-Hassa mine was found to be 88.25 ppm, and the highest concentration was found in soft phosphate layer, while at Al-Abiad mine the average was 71.46 ppm and the highest concentration was found in soft phosphate mixed marl layer. At Eshshidiya mine the average was 48.23 ppm, and the highest concentration was found in the soft phosphate layer.

It is clear that uranium concentration increases from Eshshidiya mine, Al-Abiad mine and Al-Hassa mine, the highest begin in Al-Hassa mine and the lowest in Eshshidiya mine.

The concentration of uranium in the studied phosphate mines ranged between (93.60-47.53 ppm). It is higher than that in Russia (11.36 ppm), but lower than that in Tanzania (376.82 ppm) and Sudan (210.94 ppm). It was found in this study that our method was an easy and useful one despite the relatively long period of irradiation due to the relatively low flux of the neutron source.

Keywords: Jordanian phosphate, CR-39 detector, fission technique, Uranium.